

Die
Entstehung der Steinkohle
und der Kaustobiolithe überhaupt
(wie des Torfs, der Braunkohle, des Petroleums usw.)

Nach Vorlesungen, gehalten
auf der Kgl. Bergakademie und der Universität zu Berlin,

von

Prof. Dr. H. Potonié
Kgl. Landesgeologen

Mit 75 Abbildungen

Fünfte, sehr stark erweiterte Auflage
des Heftes „Die Entstehung der Steinkohle und verwandter Bildungen
einschließlich des Petroleums“

Berlin
Verlag von Gebrüder Borntraeger
W 35 Schöneberger Ufer 12 a

1910



Fig. 1. Sumpffachmoor-Landschaft aus dem mittleren produktiven Carbon. Nach einem vom Verfasser für das Deutsche Museum von Meisterwerken der Technik und Naturwissenschaften in München angegebenen Gemälde von W. KRAENZ.

Alle Rechte,
namentlich das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten

Copyright, 1910, by Gebrüder Borntraeger in Berlin

Druck von E. Buchbinder (H. Duske) in Neu-Ruppin

Vorwort

C'est surtout en histoire naturelle qu'on est toujours mécontent de ce qu'on fait, parceque la nature nous montre à chaque pas qu'elle est inépuisable. Cuvier.

Seit Jahren ist es mein Bemühen, ein besseres Verständnis für die brennbaren organogenen Gesteine und eine natürliche Klassifikation für sie zu gewinnen, und zwar habe ich das zu erreichen gesucht durch ein möglichst weitgehendes Studium der heutigen Verhältnisse, der Art und Weise wie, und der Örtlichkeiten, wo sich heute solche Gesteine bilden, um dadurch Vergleichs- und Anhaltspunkte für die Eigentümlichkeiten zu erhalten, wie sie die Lagerstätten der Steinkohlen usw. aufweisen.

Bei der vielfältigen Gelegenheit, die ich seit fast einem Vierteljahrhundert gehabt habe, mich mit der Steinkohlenformation im Revier und im Studierzimmer zu beschäftigen, habe ich mir eine auf selbstbeobachtete Tatsachen gegründete Meinung über die Entstehung der Steinkohlenlager und der Kaustobiolith-Ablagerungen überhaupt zu bilden vermocht. Nach der bisherigen Literatur ist es für denjenigen, dem eigene hinreichende Erfahrungen fehlen, nicht möglich, eine klare Antwort für diese Frage zu gewinnen, denn es herrscht in der bezüglichen Literatur eine bedeutende Verwirrung, die dadurch genährt wird, daß sich — bei dem großen Interesse, das unsere Frage in so vielen Kreisen findet — auch Autodidakten und Dilettanten an der Lösung zu beteiligen versucht haben und zwar in so reichem Maße, daß es selbst für den Fachmann unmöglich ist, alles, was über den Gegenstand geschrieben worden ist, zu lesen.

Die Gesamtliteratur ist gegenwärtig nicht mehr zu bewältigen: wer diesen Versuch machen wollte, würde kaum zu einem Schluß kommen. Trotz eifrigster Bemühung, wenigstens die fördernden Veröffentlichungen zur Kenntnis zu nehmen, ist mir sicher doch noch vieles auch von diesen entgangen; insbesondere steckt in den fremdsprachlichen

Literaturen gewiß so manches, das berücksichtigenswert ist, mir aber, sei es aus Mangel an Kenntnis der Sprache, sei es überhaupt entgangen ist.

Ich habe die in Rede stehende Frage fast von Anbeginn meiner Steinkohlenstudien in Angriff genommen, mich jedoch bisher gescheut, etwas Ausführlicheres zu veröffentlichen, weil ich immer noch verschiedene wesentliche Lücken empfand, die ich durch Autopsie an Ort und Stelle ausfüllen wollte. Nicht nur, daß ich Irrtümer vermeiden wollte, die vom grünen Tisch aus zu leicht begegnen, sondern es kommen auch Dinge in Betracht, über die weder die bisherige umfangreiche Literatur Auskunft gibt, noch von den an Ort und Stelle befindlichen Kreisen aus in dem gewünschten Sinne beantwortet werden können, weil hierzu eine Kenntnis des Gesamtgegenstandes nötig ist.

Auch jetzt bin ich nicht an das Ziel gelangt, das ich mir am Anfang gesteckt hatte. So hätte ich z. B. gern die Tropen besucht, um gewisse Tatsachen, über die die Literatur keine oder nicht hinreichende Aufschlüsse gibt, beobachten zu können; das ist mir nicht vergönnt gewesen, jedoch ist wenigstens jetzt die Grundlage für das, was ich dort beobachten wollte, gewonnen, indem ich — wie aus dem Text zu ersehen ist — dahin gewirkt habe, die für meine Zwecke dienlichen Auskünfte zu erhalten. Ich selbst war sonst nur in der Lage, auf Reisen in Europa, die ich in erster Linie im Interesse der Kgl. Preuß. Geolog. Landesanstalt, ferner durch eine pekuniäre Unterstützung seitens der Kgl. Preuß. Akademie der Wissenschaften und endlich mit eigenen Mitteln unternommen habe, ferner in Kanada Studien zu machen, die aber gerade am meisten dazu beigetragen haben, mir die noch klaffenden Lücken zu zeigen.

Wer nicht ernstlich den Versuch macht, den ganzen für einen Gegenstand in Betracht kommenden Tatsachenumfang zu gewinnen, sondern sich mit Einzelheiten begnügt und von diesen aus eine Verallgemeinerung wagt, ist von des Gedankens Blässe nicht angekränkt, die unfehlbar die Folge eingehenderer Kenntnisse ist. Ich selbst habe insbesondere bald eingesehen, daß ohne genaue Kenntnis der rezenten Kaustobiolithe auf dem Gebiet nicht vorwärts zu kommen ist, und ich habe daher schließlich getrost weit über ein Jahrzehnt daran gesetzt, um auch diese zum Vergleich mit den fossilen Kaustobiolithen zu studieren. Freilich konnte ich natürlich vorher nicht übersehen, daß ich soviel Zeit gebrauchen würde. Die Zeit vor Einem und hinter Einem erscheint in ganz verschiedenem Maßstab: so habe ich denn, als ich begann, geglaubt, daß ich sehr viel schneller zu einem annehmbaren Resultat kommen würde, als es der Fall war.

Wenn ich trotz der für mich stark fühlbaren Lücken nunmehr die Arbeit vorlege, soweit sie eben gediehen ist, so geschieht dies, weil sich im Verlaufe des Eindringens in den Gegenstand seine Bewältigung für den Einzelnen als unmöglich erwies wegen der großen Fülle von Problemen, die sich auftun und noch viele Arbeit erfordern werden. Ich habe es schließlich für nützlicher gehalten, hiermit das zu geben, was ich bis jetzt habe, als noch länger zu warten, um so mehr, als ich durch Unterhaltungen mit Geologen und Palaeobotanikern immer wieder die Überzeugung gewonnen habe, daß auch ein Torso wie der vorliegende gelegen kommen wird.

Wenn ich bedenke, was ich ursprünglich gewollt, aber was ich schließlich doch nur erreicht habe, so empfinde ich stark, wie sehr das vorliegende Buch unvollkommen ist; es wird aber eine Diskussion über den Gegenstand und dadurch eine Förderung desselben wesentlich erleichtert, wenn — wenigstens der Versuch — einer eingehenderen systematischen Darstellung des Gesamtgegenstandes gedruckt zugänglich ist. So wird es dem vorliegenden Buch nicht viel Abbruch tun, daß im Verlauf der Jahre, die ich an ihm gearbeitet und während derer ich über den Gegenstand vorgetragen habe, einiges durch Veröffentlichung von anderer Seite und auch durch eigene Mitteilungen abgebröckelt ist.

Ursprünglich glaubte ich das ganze Gebiet in einem mäßigen Bande vorbringen zu können. Aber allein das für den Gegenstand notwendige Studium der rezenten Verhältnisse und die Darlegung dieser erforderte eine umfangreiche Darstellung, die ich in meinem Werk über die rezenten Kaustobiolithe geboten habe. Es wäre unzweckmäßig gewesen, die wünschenswerte ausführliche Grundlegung in dem vorliegenden Bande zu geben; er wäre dadurch unübersichtlich geworden. Ich ziehe es daher vor, hier nur die prinzipiellsten Punkte aus dieser Grundlegung vorzubringen und verweise die Leser, die mehr wünschen, auf das genannte Werk.

Ich habe es mit wenigen Ausnahmen vermieden, mich in eine Polemik gegen Schriften einzulassen, die andere Anschauungen vertreten, als sie auf Grund einer kritischen Methodik zu gewinnen sind, aber ich habe doch gelegentlich auf gegenteilige Meinungen, die besonders im Vordergrund stehen, Bezug genommen. Eine solche gelegentliche Bezugnahme läßt die von mir vertretenen Ansichten durch den Gegensatz besser hervortreten. Die Klarheit und Durchsichtigkeit der Darstellung würde aber sehr leiden, die springenden wesentlichen Punkte würden gar zu sehr verdeckt werden, wenn ich den Versuch gemacht hätte, auch nur die Literatur über den Gegenstand zu berücksichtigen, die ich

kenne. Man kann in der Literatur zur Frage nach der Entstehung der Steinkohlen alles vertreten finden, was man wünscht: die widersprechendsten Ansichten werden mit Energie verfochten. Bei dieser Sachlage ist eine Klarheit gegenwärtig nur für den zu gewinnen, der über den Gegenstand selbst ausgiebig geforscht hat und die Literatur hierüber kennt und zu beurteilen versteht. Es ist für denjenigen, der nur gelegentlich einmal, als Episode seiner sonstigen Tätigkeit, an den Gegenstand herantritt, sehr schwierig, zu merken, daß ein Autor ein Humusgestein gänzlich verkennt, z. B. einen Sapropelit mit einem reiferen Moortorf verwechselt und nun ganz irrtümliche Schlußfolgerungen zieht, oder aber die rezenten, sehr wichtigen Sapropelite überhaupt nicht kennt und infolgedessen gewisse fossile Faulschlammbildungen, die auch technisch eine hervorragende Rolle spielen, nun natürlich auch nicht zu deuten imstande ist usw. Die Palaeobotanik ist eine so umfangreiche Disziplin geworden, daß zu ihrem Betriebe eine systematische Kenntnis der großen Literatur erforderlich ist, und zwar insbesondere hinsichtlich der Wertigkeit und des Grades der Zuverlässigkeit der Autoren. Diese Beurteilungsfähigkeit ist immer nur durch lange und ausschließliche Beschäftigung mit dem Gegenstande zu erwerben. Eine Abschätzung der Literatur ist in einer Disziplin selten derartig geboten wie in der Palaeobotanik; denn wenn es auch der notwendige Gang der Entwicklung dieser wie aller Disziplinen mit sich bringt, daß die Anfänge wissenschaftlicher Betätigung von anderen Gebieten ausgehen, so ist es in der Palaeobotanik doch so, daß sogar noch gegenwärtig Gelehrte und Kenner aller möglichen anderen Disziplinen häufig glauben, hier so ziemlich voraussetzungslos mitarbeiten zu können. Es kann danach nicht wundernehmen, daß die Zahl derjenigen Schriften über unseren Gegenstand, die beachtenswert sind, weil ihre Autoren ihren Blick nicht beschränken, sondern nach wissenschaftlicher Methodik vorgehen, eine äußerst geringe ist. In der ungeheuren Fülle gedruckten Materiales muß man wie spärlich verteilte Goldkörner aus einem Flußsande das wenige Brauchbare heraussuchen, aber eine Methode, so gut wie alles Brauchbare zu finden, wie sie bei der Bearbeitung der Goldseifen entwickelt ist, gibt es für die Literatur nicht.

Die ersten drei Auflagen der vorliegenden Arbeit erschienen 1905 und wurden wesentlich von der Internationalen Bohr-Gesellschaft (deren Sitz in Erkelenz in der Rheinprovinz ist) für die Weltausstellung in Lüttich verbraucht. Die von der Gesellschaft dort zur Verteilung gebrachte Schrift hatte ich auf Veranlassung ihres damaligen Generaldirektors, meines Freundes Hrn. ANTON RAKY, als Auszug aus einem

umfangreichen Manuskript verfaßt, das natürlich auch die Grundlage zu der vorliegenden Veröffentlichung ist. Der Auszug von 1905 sollte als Erläuterung dienen zu einer ebenfalls auf Veranlassung der genannten Gesellschaft von mir hergerichteten Ausstellung von Kaustobiolithen und Abbildungen zur Genesis derselben. In französischer Sprache habe ich über den Gegenstand berichtet in den „Publications du Congrès internat. des Mines, de la Métallurgie, de la Mécanique et de la Géologie appliquées“ (Liège 1905) und auch sonst gelegentlich kurze Referate aus dem nunmehr vorliegenden umfangreicheren Werk geliefert. Die vierte Auflage erschien 1907; sie war in einem wesentlichen Punkt erweitert worden, aber auch diese hat nur den Umfang eines Heftes von 47 Seiten, das sehr schnell vergriffen war. Ich hätte daher bei meinem Versprechen, ein umfangreicheres Werk zum Gegenstande zu liefern, vor dem Dilemma gestanden, zweimal nebeneinander denselben Gegenstand gleichzeitig zu veröffentlichen, nämlich eine kürzere Arbeit, die ich aber gegenüber der vierten Auflage doch wieder hätte erweitern müssen, und eine umfangreiche Arbeit, die dann vielleicht bei dem Vorhandensein der kleineren nicht die von mir gewünschte Beachtung gefunden hätte. Nach Rücksprache mit der Verlagsbuchhandlung bin ich daher zu dem Schluß gekommen, den in vier Auflagen erschienenen Auszug hiermit so erweitert herauszugeben, daß auch das geplante umfangreiche Werk wohl zum Vorteil der Sache fallen gelassen werden kann. Ich nehme also einen Mittelweg, indem ich nunmehr auf die Herausgabe des sehr umfangreich gedacht gewesenen Werkes verzichte, denn ich glaube, nach den Erfahrungen, die sich aus dem schnellen Absatz der vier Auflagen des Heftes ergeben haben, daß der Wunsch, eine mehr durchsichtige, kürzere Darstellung zu besitzen, allgemeiner ist, als der nach einem eingehenden Handbuch, in welchem man leicht den Wald vor Bäumen nicht sieht. Das Erscheinen auch der folgenden etwas ausführlicheren Darlegung hätte noch lange auf sich warten lassen, wenn ich nicht durch die Umstände dazu gewissermaßen gedrängt worden wäre, sie, so gut es ging, fertig zu stellen. Mir selbst, für den bei dem Gegenstande so wie so mehr das Prinzipielle, als die Zusammensetzung sämtlicher Einzelheiten im Vordergrund stand, kommt die Sachlage, wie sie sich nunmehr ergeben hat, nicht ungelegen. Denn ich bin gegenwärtig derartig mit Arbeiten überhäuft, daß ich den Abschluß eines umfangreichen Handbuches nicht abzusehen vermöchte. Einzelheiten, die infolge der vorgenommenen wesentlichen Kürzungen fehlen, werden sich übrigens leichter einfügen, nachdem nunmehr vorliegend eine hinreichend umfangreiche Darstellung vorhanden ist. Auch

die Literaturzitate hätten in einem Handbuch einen großen Platz eingenommen. Ich lasse sie hier aus Sparsamkeitsrücksichten weg und zitiere nur die in Betracht kommenden Autoren und zwar meist mit Beigabe einer Jahreszahl, um demjenigen, der Quellenstudien zu treiben wünscht, die Auffindung zu erleichtern.

Die früheren Auflagen führten den Titel „Die Entstehung der Steinkohle und verwandter Bildungen einschließlich des Petroleums“ und die drei ersten, da sie gleichzeitig einen französischen Text bringen, „Formation de la houille et des minéraux analogues y compris le pétrole.“ Entsprechend meiner Aufstellung des Begriffes „Kaustobiolithe“ verändere ich vorliegend den Titel in „Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt“.

Alle Figuren (Photographien usw.), deren Herkunft nicht ausdrücklich angegeben ist, habe ich für meine Arbeiten über Kaustobiolithe unter meiner Aufsicht anfertigen lassen oder selbst angefertigt¹⁾.

Sehr zu Dank verpflichtet bin ich meinem Kollegen Herrn Landesgeologen Prof. Dr. ERNST ZIMMERMANN, der die Arbeit in der Korrektur ganz gelesen und viele Verbesserungen veranlaßt hat. Auch Hr. Dr. W. GOTHAN hat freundlichst Korrektur gelesen.

¹⁾ Auch hier lasse ich — um Platz zu sparen — meist weg, ob ich die Bilder von einem Photographen oder sonstwie anfertigen ließ oder ob sie — wie die meisten — von mir aufgenommen wurden, denn solche Angaben haben keinerlei wissenschaftliche Bedeutung.

Gr. Lichterfelde bei Berlin, im Juni 1910

H. POTONIÉ

Inhalts-Übersicht

| | Seite |
|---|-------|
| Vorwort | V |
| Einleitung | 1 |
| Historisches | 5 |
| Zersetzungsprozesse | 15 |
| Heutige Bildungs- und Lagerstätten von Kaustobiolithen | 18 |
| Sapropelite | 19 |
| Humusgesteine | 22 |
| Liptobiolithe | 47 |
| Fossile Sapropelite | 51 |
| Allgemeines | 51 |
| Spezielleres und zur Synonymik der Sapropelite | 67 |
| Besondere Sapropelite mit reichen akaustobiolithischen und anorganisch-mineralischen Zutatzen | 74 |
| Sapropelitkalke | 74 |
| Siliciumdioxid | 75 |
| Eisen | 77 |
| Gagat | 78 |
| Petroleum, ein abgeleiteter Sapropelit | 81 |
| Humus-Kohlen | 95 |
| Charaktere für Autochthonie und Allochthonie | 112 |
| Gerölle und konkretionäre Bildungen in Kohlenlagern | 142 |
| Gerölle anorganischer Gesteine | 143 |
| Gerölle aus Kohle | 146 |
| Inkrustate und Intuskrustate | 148 |
| Die Tropen-Sumpfflachmoor-Natur der Carbonmoore | 152 |
| Moorbildung unter Tropenklima | 152 |
| Moorflora, insbesondere des produktiven Carbons und Flachmoor-Natur der Steinkohlenmoore | 161 |
| Die hervorragendsten Moorbildungszeiten: Carbon und Tertiär | 187 |
| Geologischer Florenwechsel | 191 |
| Fossile Liptobiolithe | 199 |
| Schlußwort | 212 |

Einleitung

Wie die Steinkohlen, so stammen fast alle anderen brennfähigen Gesteine von Lebewesen: sie sind Kaustobiolithe (vom griechischen *kaein* = brennen, *bios* = Leben und *lithos* = Stein). Vielleicht macht allein eine Ausnahme der natürliche Schwefel, der im wesentlichen vulkanischer Tätigkeit seinen Ursprung verdankt, denn er kann sich z. B. aus vulkanischen Dämpfen und warmen Quellen (Thermen) ausscheiden; außerdem geht er in der Natur auch aus der Zersetzung von Schwefelwasserstoff hervor ($2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$), der überall da leicht gebildet wird, wo Sulfatsalze, z. B. des Meerwassers, durch sich zersetzende organische Substanzen reduziert werden, in welchem Falle freilich kaustobiolithisches Material eine Rolle mitspielt.

Wenn uns, wie in den Kaustobiolithen, etwas Fertiges entgegentritt, das uns Fragen abnötigt, so gelangen wir besonders leicht zu befriedigenden Antworten, wenn es uns gelingt, das Werden, das Entstehen zu erkennen, weil es uns auf diesem Wege möglich ist, das uns Entgegen tretende, zunächst noch Unklare in einfachere Tatsachen aufzulösen, die uns bereits bekannt oder doch leichter verständlich sind.

Auch wir wollen deshalb sehen: woraus und wie sind die fossil vorhandenen Kaustobiolithe entstanden, anders ausgedrückt: aus welchen uns besser bekannten und näher untersuchbaren Materialien sind sie hervorgegangen und das in welcher Weise? Es ist in der Tat möglich, auf diesem Wege zum Ziele, d. h. zu einem Verständnis, zu gelangen; denn auch heute entstehen Kaustobiolithe in reichlichem Maße, und die Merkmale, die diese und ihre Lagerstätten aufweisen, stimmen mit denjenigen der fossilen Kaustobiolithe soweit überein, wie es nur verlangt werden kann, um weitgehendste Vergleiche zu ermöglichen und daher eine befriedigende Aufklärung zu bieten. Bei der angedeuteten Tendenz — uns also durch Kenntnisnahme des Werdens aus besser Bekanntem — das Verständnis für das Fertige, in seinem Wesen weniger gut Bekannte näher zu rücken, kann es sich natürlich nur um die Aufsuchung derjenigen elementaren, besser bekannten Tatsachen handeln, die jedermann oder doch einem

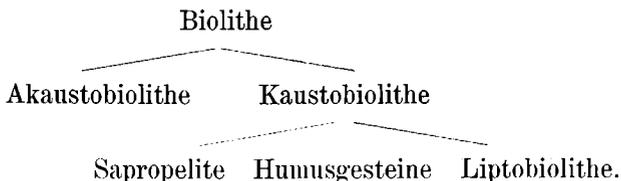
größeren Kreise nahe oder doch näher liegen. Mit anderen Worten: Nicht die Genesis in chemischer Hinsicht, die Darstellung der Umwandlungen aus den lebenden Urmaterialien durch die Übergangszustände bis zur fossilen Kohle usw. ist die noch anderweitig der näheren Lösung harrende Aufgabe, die sich dieses Buch stellt — obwohl die chemische Seite nicht ganz beiseite gelassen werden kann —, sondern es soll die Entstehung der Kaustobiolithe im Sinne der Geologie verfolgt, d. h. eine Antwort auf die Frage gegeben werden: welche leicht zugänglich zu beobachtenden Erscheinungen auf der Erdoberfläche sind die heutigen Parallelen, die heranzuziehen sind, um uns die fossilen Kohlen und Kaustobiolithe überhaupt näher zu rücken.

Die Kaustobiolithe gehören als Untergruppe zu den Biolithen, so hatte CHR. G. EHRENBERG alle die von Organismen oder ihren Teilen gebildeten Gesteine genannt. Die Biolithe sind aber nicht alle Kaustobiolithe. An der Zusammensetzung und Veränderung der Erdrinde hat die Lebewelt noch einen viel weiter gehenden, beachtenswerten Anteil; denn Zeugen der weitgehenden geologischen Wirksamkeit der Pflanzen und Tiere sind auch Biolithe, die nicht brennen, die Akaustobiolithe, die noch weit verbreiteter sind als die Kaustobiolithe. Akaustobiolithe entstehen 1. aus Niederschlägen, die sich zersetzende organische Substanzen veranlaßt haben, 2. aber besonders aus Kalk- und Kieselskeletten von Pflanzen und Tieren, deren brennbare organische Substanz mehr oder minder verschwunden ist (silurische Algen-Kalke, Korallenkalk, Schreibkreide der Kreideformation usw.).

In Rücksicht auf ihre Genesis und chemische Zusammensetzung sind die Kaustobiolithe vorteilhaft in drei Gruppen zu bringen. Sie gehören entweder:

1. zu den Sapropeliten (vom griechischen *saprós* = faul, *pélos* = Schlamm und *ites* = abstammend, dazu gehörend),
2. zu den Humusgesteinen (Humus heißt im Lateinischen eigentlich nur das Erdreich, wird aber jetzt, wie wir sehen werden, in beschränkterem Sinne gebraucht) und
3. zu den Liptobiolithen (vom griechischen *leiptós* [latinisiert *liptos*] zurückgelassen und Biolith).

Wir hätten also übersichtlich:



Die ausführlicheren Charakteristika dieser drei großen Gruppen ergeben sich erst aus Späterem; da wir aber schon vorher von diesen Bildungen reden wollen, seien hier schon kurz die Unterschiede angedeutet.

Von Kaustobiolithen kann man nur dann reden, wenn brennbares, organogenes Material in den Gesteinen in solcher Menge vorhanden ist, daß es ein wesentliches Merkmal dieser Gesteine ausmacht; d. h., man wird nur dann von einem Sapropelit sprechen, wenn er ausschließlich aus Sapropel oder von ihm abgeleitetem Kaustobiolith besteht oder ein so großes Quantum davon enthält, daß das Gestein seine Brennbarkeit noch deutlich erkennen läßt. Ebenso ist es mit dem Humus der Humusgesteine usw.

Sapropél (Faulschlamm) entsteht durch die Anhäufung abgestorbener echter Wasserorganismen oder von Resten derselben, sofern es sich um die brennbaren Teile handelt, denn ausschließliche Skelett- und Schalen-Reste würden einen Akaustobiolith ergeben. Die echten Wasserorganismen (Tiere sowohl wie Pflanzen!) sind durch einen höheren Fett- und Protein-Gehalt ausgezeichnet, wodurch die Eigenart des Sapropels gegenüber dem

Humus bedingt ist. Humus nämlich entsteht aus Land- (einschl. Sumpf-) Pflanzen, und bei den höheren Pflanzen spielen Kohlenhydrate die hervorragendere Rolle. Unter Humus sind ganz allgemein die bei der Zersetzung von Sumpf- und Landpflanzen zurückbleibenden festen, bezw. flüssigen oder gelösten, kohlenstoffhaltigen, brennbaren Bestandteile zu verstehen.

Liptobiolithe endlich sind Harz-, Wachsharz- und Wachs-Bildungen, die bei ihrer schweren Zersetzlichkeit nach der Verwesung von Pflanzenteilen, die diese Produkte enthalten, zurückbleiben.

Der wichtigste Kaustobiolith, ja das wichtigste Mineral bezw. Gestein überhaupt, das wir auf der Erde als natürliches Brennmaterial besitzen, ist aber die Steinkohle insbesondere der Steinkohlenformation¹⁾, auch wegen ihrer Farbe Schwarzkohle genannt, beides entsprechend den Bezeichnungen der Gelehrtensprache des Mittelalters: carbones lapidei und terra nigra, die allgemein die natürlichen Kohlen (im Gegensatz zu den künstlichen) carbones terrei (Erdkohlen), sonst auch carbones fossiles, lithanthraces und anthraces nannte. Bei ihrer hervorragenden Wichtigkeit soll die Betrachtung der Steinkohle in den Vordergrund gerückt werden. Die Steinkohle findet sich bekanntlich in Lagen von geringster Mächtigkeit bis zu mehreren Metern anschwellend

¹⁾ Ich setze hinzu „insbesondere der Steinkohlenformation“, weil Steinkohlen (= Schwarzkohlen) hier im mineralogischen (petrographischen) Sinne genommen werden. Es gibt auch Steinkohlen in anderen geologischen Formationen (im Jura usw.).

zwischen Schiefertonen, die mit Sandsteinschichten abwechseln (Fig. 2). Die Mächtigkeit der produktiven Steinkohlenformation, also jener geologischen Formation, die wesentlich die Steinkohlenlager¹⁾ enthält, beläuft

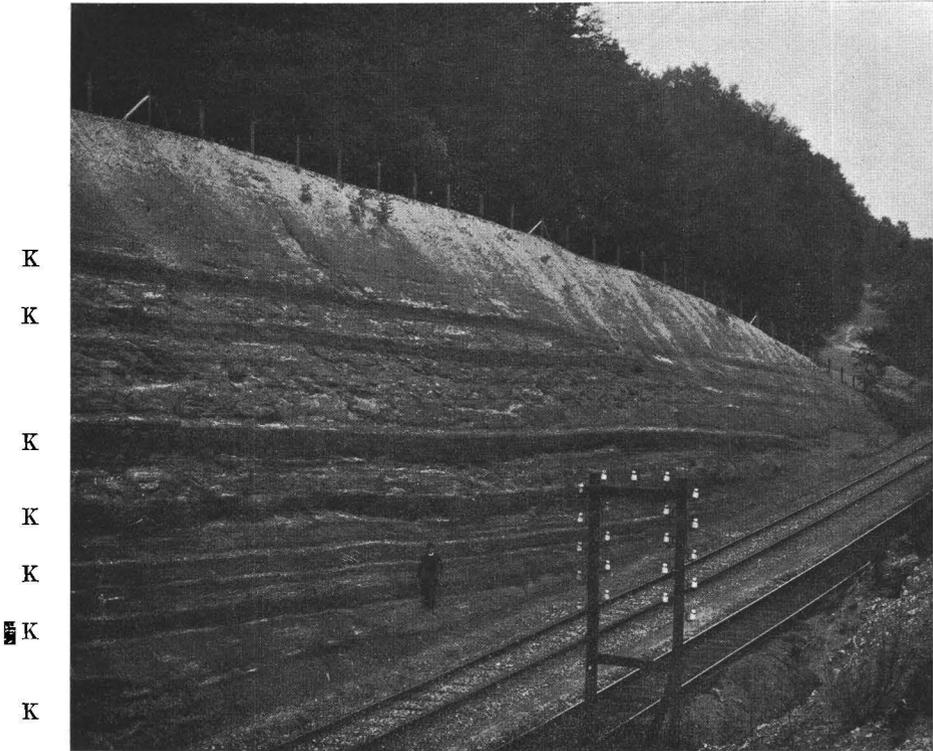


Fig. 2. Stein-(Schwarz-) Kohlen-Lager (K) führendes Profil.
Eisenbahn-Durchschnitt im Saar-Kohlenrevier.

sich an vielen Stellen der Erde auf mehrere tausend Meter. Mit der ungeheuren Produktion an Kohlen ist keine andere der Erde zu vergleichen.

¹⁾ Ich ziehe hier die Ausdrücke Kohlenlager oder Kohlenbank der allgemein gebräuchlichen Bezeichnung Kohlenflötz vor, weil üblicherweise das Wort Flötz von flößen (= zusammenschwemmen) abgeleitet wird. Wir wollen aber erst untersuchen, ob die Entstehung der Kohlenlager generell durch Zusammenschwemmung von pflanzlichem Material anzunehmen ist, oder ob eine andere Annahme den Tatsachen besser entspricht. Bei der Benutzung des Wortes Flötz für die Kohlenlager wird jetzt zu leicht angenommen, daß auch diese wie die in ihrem Hangenden und Liegenden vorhandenen Gesteine (z. B. die Sandsteine und Schiefertone) durch Wasser abgesetzt worden seien. Wir werden aber sehen, daß diese Verallgemeinerung unangebracht ist.

Historisches

Die Steinkohlen sind frühzeitig in den wissenschaftlichen Gedankenkreis eingetreten: Ansichten über ihre Entstehung und die der natürlichen Kohlen überhaupt sind seit langem immer wieder der Öffentlichkeit unterbreitet worden. Ganz außerordentlich überwiegend stützen sich aber die Äußerungen auf bloße einzelne Tatsachen, die den Autoren gerade aufgefallen waren, ohne daß diese weitere kritische Umschau gehalten hätten. Auch auf unserem Gebiete ist aber wie überall, wo es sich um naturwissenschaftliche Probleme handelt, nicht nebenbei, sondern nur durch ein eingehendes Studium das der Natur entsprechende Resultat zu erreichen. Wer das Gebiet nicht nur dilettantenhaft, sondern mit größerer Vertiefung und wissenschaftlich pflegt, sieht bald seine Schwierigkeiten und seinen großen Umfang zumal dadurch gegeben, daß in erster Linie nicht weniger als drei wichtige Disziplinen schwerwiegend mitzureden haben: die Geologie, die Chemie und die Biontologie (Botanik u. Zoologie). So ist denn schon hieraus ersichtlich, daß unser Gegenstand in der Tat ein sehr weitschichtiger ist.

Ursprünglich hielt man die Steinkohle für ein Mineral, das in demselben Sinne von Anbeginn auf der Erde vorhanden war, wie die anderen Mineralien. Gewisse Autoren sprechen denn auch noch sehr spät (im 18. Jahrhundert) von einer Verdichtung aus der Luft, ähnlich der ursprünglichen Anschauung des ANAXIMENES (588 bis 524 v. Chr.), nach der die Luft durch Verdichtung zu Wasser, Erde, Steinen wird.

Sehr häufig findet man bei unmittelbareren Vorläufern unserer heutigen wissenschaftlichen Periode die Anschauung vertreten, daß irgendwelche in der Natur vorhandenen Flüssigkeiten durch Imprägnation die Sonderbeschaffenheit von Kaustobiolithen bedingt haben. Bei A. MATTHIOLUS z. B. (MATTHIOLI epist. ed. I. BAUHIN, 1592 p. 142) findet sich die Ansicht, Stein gehe in Kohle über, wie Holz in Stein, je nachdem sie mit Kohlen- oder Steinsäften, die in der Natur vorhanden seien, in Berührung kämen.

Noch im ersten Drittel des vorigen Jahrhunderts gab es ernste Gelehrte, die nicht abgeneigt waren, die unorganische Natur der fossilen Kohlen, ja sogar des Torfes zu vertreten. So drückt sich z. B. CH. KEFERSTEIN (1826, p. 78), indem er die Kohlenbildung mit der gewisser Kalklager¹⁾ vergleicht, so aus: „Niemand wird behaupten: daß die Vegetabilien es sind, die hier den Kalktuff bilden, sondern man wird

¹⁾ Es handelt sich, wie deutlich aus seiner Beschreibung hervorgeht, um Sapropel-Kalklager.

diese als etwas nicht Wesentliches betrachten, und das kalkige Wasser als das Wesentliche ansehen, aus dem sich der Kalktuff bildet. Auf ähnliche Art wird man aber bei analogen Verhältnissen nicht den Vegetabilien, sondern dem torfigen Wasser die Eigenschaft zuschreiben müssen, den Torf zu bilden. — Auf welche Art hier das kalkige, dort das torfige Wasser gebildet wird, ist eine geologische Frage, die dann erst beantwortet werden kann, wenn der Gang ermittelt ist, den die Bildungen der jetzigen Periode überhaupt nehmen.“ Diese Ansicht stützt sich auf frühere verwandte Äußerungen, wie man sie besonders zusammengestellt findet in JAMES PARKINSONS „Organic remains of a former world“ von 1811, einem Buch, das überhaupt für den etwaigen eingehenderen Historiker unseres Gegenstandes von großem Wert ist. AGRICOLA, der älteste Autor, von dem wir in dieser Hinsicht Kunde haben, erklärte 1544 die Steinkohle für verdichtetes Erdöl; woher freilich dieses kommt, blieb unerörtert. Es ist interessant, daß Meinungen, die sich mit dieser Anschauung mehr oder minder berühren, bis heute stets vertreten worden sind, so jetzt noch von C. EG. BERTRAND bezüglich der Sapropel-Kohlen (vergl. näheres am Schluß dieses Abschnittes), wie andere Autoren sich lange Zeit noch die Entstehung der (Humus-) Steinkohlen durch Niederschlag der löslichen Humusstoffe aus den erwähnten Torfwässern (Schwarzwässern) vorstellten. Wie lange dauert es nicht oft, bevor den natürlichen Verhältnissen entsprechende Ansichten sich Bahn brechen! Denn schon 1592 hat BALTHASAR KLEIN die Entstehung der Stein- und Braunkohle aus Holz angenommen und auch VALERIUS CORDUS († 1544) nimmt pflanzlichen Ursprung an. Besonders seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts war der richtige Weg gewiesen. JOH. HARTM. DEGNER sagt nämlich bereits 1760 (p. 126): „Daß der Torf in der That eine Zuhauftsammlung unzehlicher in und unter dem sumpfhafft-stillstehenden Wasser blühenden, grünenden und wachsenden sumffigren Gewächse sey.“ Schon DEGNER empfiehlt das Mikroskop zur Untersuchung des Torfs (p. 125 u. a.).

Manche Autoren älterer Zeit, des Mittelalters und auch noch später, glaubten aber, daß die Kohlen- und „Kräuterfiguren“, d. h. die Pflanzenfossilien die unmittelbaren Produkte bestimmter unterirdischer Samen seien. Es lohnt sich für uns nicht, alle die unserm heutigen Denken weit abgelegenen Ansichten vorzuführen, die einmal zu unserm Gegenstande aufgetaucht sind; es genügt Beispiele zu haben, die den Gegensatz verdeutlichen.

Sehr bald haben dann aber diejenigen Anschauungen breiteren Fuß gefaßt, die den heutigen entsprechen, nach denen die Steinkohlenlager Zersetzungsprodukte früherer Pflanzen sind.

Sie lagen von vornherein so nahe, daß eine ganze Anzahl Forscher darauf hingewiesen haben, nämlich (außer dem schon genannten DEGNER)

SCHEUCHZER (1709), VON BEROLDINGEN (1778), DE LUC (1778) und andere. Der letztgenannte sagt: „Daß die Steinkohlen aus vegetabilischen Substanzen entspringen, hat man schon längst vermutet, weil der darüber liegende Tonschiefer jederzeit Eindrücke von Pflanzen zeigt.“

Einen hinreichenden wissenschaftlichen Nachweis dafür, daß die Steinkohlenlager Produkte ehemaliger Vegetationen sind, haben dann aber u. a. W. HUTTON (1833) und der Botaniker HEINRICH FRIEDRICH LINK (1838) erbracht, indem sie durch mikroskopische Untersuchungen feststellten, daß die echte (Humus-)Steinkohle im Grunde ebenso zusammengesetzt ist wie der Torf, insofern als es sich bei beiden um eine mehr oder minder gleichmäßige Grundmasse handelt, in der figurierter Teilchen eingebettet liegen, die sich als von pflanzlicher Herkunft erweisen. Das ist leicht nachzuprüfen, wie das denn auch später wiederholt geschehen ist, zuletzt (1906) in trefflicher Weise von STANISLAUS KARCEWSKI.



Fig. 3. Mikroskopische Ansicht von Holzresten aus oberschlesischer Steinkohle.
(Nach LINK.)

Auch mit bloßem Auge kann man gelegentlich in der Kohle Skulpturen erkennen, die die Oberflächen unterirdischer Pflanzenorgane (*Stigmarien*) und von Baumstamtoberflächen (*Lepidodendren* und *Sigillarien*) aufweisen. Außerdem findet man in vielen Kohlen, Steinkohlen usw., echt verkohlte Teile wie Holzkohle, die ebenfalls schon dem bloßen Auge die Herkunft von Pflanzen verrät. Diese Holzkohle ist besonders geeignet, dem botanisch-anatomisch Bewanderten schnell und bequem die Pflanzenstruktur zu verraten: ein Pröbchen, unter das Mikroskop gebracht, gibt in vielen Fällen ohne weiteres (ohne Anwendung von Macerationsmitteln) genau wie künstliche Holzkohle ihre Zusammensetzung aus Pflanzenzellen zu erkennen; insbesondere sind Stücke von Stereo-Hydroïden (Tracheïden) auffällig (Fig. 3). In der Holzkohle der Steinkohle handelt es sich eben um Holzteile vom Gymnospermentypus, also von höheren Pflanzen. Hierzu kommt nun noch das Vorhandensein von Fossilien, wie Blattresten usw., namentlich in unmittelbarer Nähe der Kohlenlager, insbesondere in den überlagernden („hangenden“) Gesteinsschichten, so daß es nach alledem jetzt als jeden

Augenblick leicht erweislich feststeht, daß die (Humus-)Steinkohlen pflanzlicher Herkunft sind. Im unmittelbaren Hangenden der Kohlenlager sind die Reste oft so eingebettet, wie wir heute die Pflanzen etwa in einem Herbarium ausgebreitet sehen, so daß dann die Annahme eines weiten Transports ohne weiteres ausgeschlossen ist, und es überhaupt den Eindruck macht, als seien die Objekte an Ort und Stelle eingeschlossen worden.

Das Resultat der mikroskopischen und anderweitigen Untersuchung wäre also, daß die Steinkohlen ein fossiles Humusprodukt sind; wir können genauer sagen: ein fest gewordenes, fossiles Humusprodukt, und zwar ganz überwiegend entstanden aus hochorganisierten Pflanzen.

Nach LINK, dessen kleine Arbeit vielfach übersehen wurde, haben GÖPPERT (1848) und GÜMBEL (1883) noch besonders viel zitierte umfangreichere Schriften über denselben Gegenstand geliefert, und darin u. a. durch makro- und mikroskopische Untersuchung von Steinkohlen in diesen Reste von Pflanzen nachgewiesen.

Die nächste, schon im vorangehenden mitgestreifte Frage geht nun dahin: in welcher Weise sind die Pflanzenanhäufungen, die wir heute als Kohlenlager in der Erdkruste finden, zustande gekommen?

LINK, von dem wir auch in diesem Punkte ausgehen wollen, sagt darüber das Folgende (1838, p. 33): „Zwei Meinungen über den Ursprung der Steinkohlen und Braunkohlen sind in den neueren Zeiten herrschend geworden und haben alle übrigen, wie es scheint, mit Macht unterdrückt; zwischen beiden ist der Sieg unentschieden geblieben. Die eine hält die Steinkohlenlager für Anhäufungen von Baumstämmen, aus entwurzelten Wäldern entstanden, und durch große Ströme zusammengeschwemmt; die andere hält sie für den Torf der Urwelt.“

Darnach kann man unterscheiden: 1. die Anschwemmungs-(Transport-)Theorie und 2. die Moortorf-Theorie.

Der schon genannte Domherr zu Hildesheim, VON BEROLDINGEN, sagt z. B.: er werde „gleichsam mit Gewalt auf den Gedanken gerissen, daß die Steinkohlen ebenfalls größtenteils aus dem Pflanzenreiche herkommen, und daß sie ursprünglich nichts anderes, als durch besondere Vorfälle, vorzüglich durch Überschwemmungen, mit verschiedenen und oft häufigen Erdlagen zugedeckte, zuweilen Dammerde, zuweilen Bäume und am gemeinsten aber überschwemmte und mit Erdreich bedeckte Torfmoore seyn, die durch die Arbeiten der Natur endlich in Steinkohlen umgeformt worden“ seien.

Um noch einige andere Autoren zu nennen, sei auch hingewiesen auf DE LUC, der vermutete, „daß die Steinkohlen aus dem Torf entspringen“, dann auf den hervorragenden Botaniker ADOLF BRONGNIART, der die Moortorftheorie vertrat. Auch die verdienstvollen Paläobotaniker UNGER und HEER hingen der Torftheorie an.

Eine für ihre Zeit ausgezeichnete, wahrhaft wissenschaftliche Darstellung findet sich in CARL FRIEDRICH NAUMANN'S Geognosie (II, 1854, p. 513—580); er sagt (p. 576) u. a., „daß den meisten und ausgedehntesten Flötzen ihr Material durch eine Vegetation in situ geliefert worden“ sei. Hatte doch der gute Moorkenner L. LESQUEREUX 1852 den großen Moorsumpf, den „Dismal swamp“, an der Grenze Nord-Carolinas und Virginians für ein „Steinkohlenbecken im Embryonalzustand“ erklärt.

Uns heute unbegreiflich, wurde übrigens auch der echte Landtorf als zusammengeschwemmt, und zwar aus Meerespflanzen, angesehen; gab doch kein Geringerer als A. v. HUMBOLDT (1792) Veranlassung, daß noch wiederholt davon die Rede war, daß im Linumer Moor, von dem Berlin seinerzeit die Hauptmasse seines Torfbedarfes bezog, Meerestangreste vorkämen. A. v. CHAMISSO (1822) jedoch fand nur Reste von *Arundo phragmites* (= *Phragmites communis*), *Eriophorum*, *Carex*, Samen von *Menyanthes trifoliata* und von *Scheuchzeria palustris* usw., also von Pflanzen, die die Vegetation unserer Moore bilden. Später hat dann CHAMISSO (1824) auch das Moorgelände bei Greifswald untersucht, von dem er sagt: „Man möchte, . . . erwarten, dieses Torflager werde sich als ein Meeremoor erweisen, in welchem man *Zostera marina*, Tange und andere Seeprodukte, als Zeugen seiner Entstehung entdecken müßte.“ Allein, er fährt fort: „Der Torf dieses Moores enthält, gleich dem Linumer Torf, nur Land- und Sumpferzeugnisse, und nichts was im entferntesten an das Meer, unter dessen Niveau er vorkommt, erinnern könnte.“

Noch vor der Mitte des vorigen Jahrhunderts hielt man es für nötig, diejenigen Autoren ausführlich zu widerlegen, die sich gegen die Entstehung des Torfes an Ort und Stelle aus den Pflanzen der Torfmoore ausgesprochen hatten. Gleichzeitig mit CHAMISSO haben DAU (1823) und viel später WIEGMANN (1837) die diesbezüglichen, oft sehr merkwürdigen und uns jetzt unglaublich erscheinenden Ansichten vorgeführt und kritisiert. Da ist es gewiß nicht verwunderlich, wenn wir uns hinsichtlich der vertretenen Theorien über die Entstehung der Steinkohlen gegenwärtig noch auf dem Standpunkte befinden, auf dem die Autoren im Anfange des vorigen Jahrhunderts sich den Torfmooren gegenüber befanden, deren Entstehung doch — meinen wir jetzt — so leicht zu erkennen ist.

Die Termini Autochthonie (vom Griech. autos derselbe und chthon die Erde, d. h. boden(eigen) für die Bildung der Kohle an Ort und Stelle, da wo die Pflanzen, aus denen sie entstand, wuchsen, und Allochthonie (vom Griech. allos ein' anderer und chthon die Erde, d. h. bodenfremd) für die durch Transport hervorgegangenen Kaustobiolithe wurden von GÜMBEL (1883) eingeführt. In Fortsetzung dieser Nomenklatur hat dann OTTO KUNTZE (1877 u. später) einen pelagochthonen

(vom Griech. pelagos das Meer) Ursprung der Steinkohlen behauptet, d. h. entstanden aus schwimmenden Wäldern, die nach ihrem Absterben auf den Grund eines „salzfreien Urmeeres“ gesunken seien.

Durchblättern wir die heutige Literatur, so sehen wir, daß der oben angeführte Satz LINKS von 1838 noch heute oder heute wieder Geltung hat! Sieht man unsere Lehrbücher der Geologie durch, so findet man einen Teil derselben zur Theorie der Allochthonie, einen anderen zur Theorie der Autochthonie hinneigend, wieder andere schwanken hin und her und wagen keine Entscheidung. Wenn der Gedanke, daß die Allochthonie bei der Bildung der Steinkohle die Hauptrolle spiele, heute noch immer so sehr weit verbreitet ist, trotzdem die Autochthonie so bestechend nahe liegt, so sind insbesondere die Arbeiten von zwei französischen Autoren, C. GRAND'EURY (1882 u. 1887) und FAYOL, die freilich jetzt auseinandergehen, hierfür maßgebend gewesen. Namentlich in Lehrbüchern haben die Ansichten der beiden Genannten weitgehende Beachtung gefunden, und das ist sehr begreiflich: gehören doch diese beiden Autoren unter den Vielen, die über den Gegenstand geschrieben haben, zu den Wenigen, die mit Kenntnissen ausgestattet in Steinkohlenrevieren selbst eingehend beobachtet haben. Allerdings haben sie sich dabei insofern zu sehr beschränkt und einen weiteren Blick verbaut, als sich ihre Auseinandersetzungen nur oder doch vorwiegend auf Beobachtungen im Revier von St. Etienne (GRAND'EURY) und im Revier von Commentry (FAYOL) beziehen. Es fehlen die vergleichenden Beobachtungen in ausreichendem Maße, die im Einzelfalle undeutlicher erscheinende und daher leicht falsch zu deutende Tatsachen aufzuklären imstande sind, ebenso, wie bei den genannten, sonst so beachtenswerten Autoren und anderen (so z. B. auch bei RENAULT) zu vermissen ist, daß sie sich nicht zunächst über die Genesis der rezenten Humusbildungen und Kaustobiolithe überhaupt eine hinreichende Kenntnis verschafft haben. GRAND'EURY hat das übrigens nachzuholen versucht, und er hatte die Freundlichkeit mir unterm 9. Juli 1903 zu schreiben, daß er sich nunmehr überzeugt habe, daß wenigstens ein Teil der Steinkohlen- und Braunkohlenlager autochthon sei¹⁾. Deshalb und da er die Absicht hat, eine größere Veröffentlichung über seine jetzigen Ansichten zu bringen, ist hier zweckmäßig auf ein Eingehen auf seine früheren Auseinandersetzungen zum Gegenstande zu verzichten und ich erwähne daher nur das Resultat FAYOLS (1888). Er hält die Steinkohlen von Commentry für eine durch reißende Wasser bewirkte An-

¹⁾ Mit Bezug auf den internationalen Geologenkongreß in Paris 1900, der mich zur Exkursion ins Steinkohlenrevier von St. Etienne zu Herrn GRAND'EURY führte, bei welcher Gelegenheit ich meinen Standpunkt zu betonen Gelegenheit hatte, schreibt er: „Depuis notre congrès . . . j'ai beaucoup voyagé et étudié plus de 20 mines de lignite de tout âge, et je me suis convaincu que les houilles et Braunkohle sont en partie de formation autochtone“ etc.

schwemmung von Pflanzenmaterial in einen See; er spricht von der „Deltatheorie“, die nun zu weit auch auf andere Fälle übertragen wird. Eine Kritik biete ich weiter hinten¹⁾).

Ich habe mit diesen wenigen Zeilen nun aber durchaus nicht etwa die Absicht, einen auch nur annähernd erschöpfenden Überblick über die Geschichte unserer Frage zu geben. Dazu würde ein Eingehen auf alle Arbeiten nötig sein, die fernab von jeder Methodik wissenschaftlichen Arbeitens auch heute noch auf dem Gebiete zutage treten. Übrigens ist insofern nicht recht von einer Geschichte des Gegenstandes zu reden, als die einzelnen Arbeiten vielfach ganz außer Zusammenhang mit dem Vorausgeleisteten stehen: einer der Hauptcharaktere des Dilettantismus, bei dem — wie bei unzureichender Kenntnis der in Frage kommenden Disziplinen überhaupt — dann auch u. a. noch der Mangel an Fähigkeit hinzukommt, den Wert der schon früher aufgedeckten Tatsachen würdigen zu können.

Die ganz überwiegend große Zahl der Arbeiten zur Entstehung der fossilen Kaustobiolithe zeugt in der Tat davon, daß auch die elementarsten, leicht zu beobachtenden Tatsachen, die bei der Entscheidung der Frage den Ausschlag geben, vielfach gänzlich unbekannt oder doch sehr ungenügend bekannt sind. Immer und immer wieder sieht man, wie die Autoren von ganz einseitigen Gesichtspunkten aus an die Beurteilung unserer Frage herantreten, ohne sich hinreichend zu bemühen, das gesamte dahin gehörige Material zu prüfen und ohne das, was schon geleistet ist, zu kennen und gebührend zu beachten. GOETHE sagte: „Der Dilettant überspringt die Stufen, beharrt auf gewissen Stufen, die er als Ziel ansieht, und hält sich berechtigt, von da aus das ganze zu beurteilen, hindert also seine Perfektibilität.“ In der Paläobotanik darf man freilich das üppige Wuchern des Dilettantismus nicht tragisch nehmen: ist er doch mit jeder erst im Werden und Wachsen begriffenen Disziplin unfehlbar verknüpft und daher geradezu eine notwendige Kinderkrankheit, die überwunden sein will; wenn wir uns jetzt erst in dem Übergangsstadium befinden, diese Periode zu überwinden, die in der Paläobotanik verhältnismäßig lange anhält, so hat dies seinen Grund in der Tatsache, daß eine wissenschaftliche, eingehendere, berufliche Beschäftigung mit dem Gegenstand nur selten statt hat. Die Entwicklung kann daher nur sehr viel langsamer vor sich gehen als in anderen Disziplinen, wie z. B. in der Botanik der rezenten Pflanzen, die seit langem zahlreiche wissenschaftliche Vertreter besessen hat. Auf die Dilettantenliteratur würde in einer „historischen Betrachtung“ deshalb einzugehen sein, weil sie bei dem Eindruck der Sicher-

¹⁾ Unter dessen liebenswürdiger und weit entgegenkommender Führung habe ich das Kohlenfeld von Commentry, das Feld seiner Untersuchungen, besichtigt.

heit, die sie bei dem Nichtspezialisten hervorrufen muß, der doch nicht imstande ist, die Widersprüche und Fehler zu kritisieren oder zu erkennen, immer wieder Eingang und Berücksichtigung in sonst ernsten Büchern und Abhandlungen gefunden hat und noch findet. Es sei zur näheren Erläuterung nur an zwei Beispiele erinnert, die sich aber sehr stark vermehren ließen.

Noch 1866 (1. Aufl.) und 1875 (2. Aufl.) war es möglich — also lange nach LINK und anderen, die über die mikroskopische Struktur der Steinkohle bereits die notwendigen Aufschlüsse gegeben hatten, — daß KARL FRIEDRICH MOHR, Professor der Chemie an der Universität in Bonn, in seiner „Geschichte der Erde“ die Entstehung der Steinkohle aus Tangen (nämlich *Fucacéen*) behaupten konnte, und das hat sich dann noch in ganz neue Bücher und Abhandlungen hineingeschleppt! Wie bei den Autoren auch sonst tut sich bei MOHR — obwohl er von ihnen spricht — durchaus ein weitgehender Mangel an Kenntnis der heutigen Moorbildungen kund. Es berührt eigentümlich, wie ein sonst so trefflicher Gelehrter — wir verdanken ihm die Methode der Maßanalyse — sobald er sein Spezialfach verließ, so sehr die Prinzipien außer acht lassen konnte, ohne deren Befolgung wissenschaftliche Resultate nicht zu erreichen sind. Wenn schon eine Anzahl Tatsachen zu dem Gedanken leiten können, daß vielleicht Tange die Hauptbildner der Steinkohle seien, so fehlt doch bei MOHR die ruhige Abwägung und Aufsuchung solcher Tatsachen, die nun gegen seine vorgefaßte Meinung sprechen. In Chemikerkreisen ist noch ganz neuerdings versucht worden, die Tangtheorie wieder zu Ehren zu bringen: das wirft ein betrübendes Licht auf die Zusammenhangslosigkeit der naturwissenschaftlichen Disziplinen.

Wenn ferner ein Autor noch 1881 (P. F. REINSCH nämlich) auf Grund des Studiums der Mikrostruktur der Steinkohle zu dem Ergebnis kommt, daß kleine, mit rezenten Pflanzentypen unvergleichbare Pflanzen, die er *Protophyten* nennt, ihre Zusammensetzung bedingten, so ist es doch gewiß sehr überraschend, daß solche „Resultate“, die sich dem richtig Vorgebildeten sofort als gänzlich wertlos ergeben, doch Berücksichtigung, ja überhaupt häufige Erwähnung finden und so als Literaturballast weitergeführt werden. Ich betone: wer botanische Fragen lösen will, muß mindestens die allerersten Elemente der Botanik kennen; wer also die anatomischen Details in den Steinkohlen beleuchten will, muß sich vorerst mit den Elementen der botanischen Anatomie vertraut machen. Bei der Sachlage, wie sie noch immer etwas auf unserem Gebiete herrscht, ist es nötig, solche Selbstverständlichkeiten doch besonders hervorzuheben.

Um schließlich auch noch die heutige Verfahrenheit auf unserem Gebiet durch ein drittes Beispiel zu erläutern, sei erwähnt, daß

F. RIGAUD (1894) und LENIQUE gar 1903 zu dem Schlusse kommen: die Steinkohle habe durchaus keinen organischen Ursprung, und noch 1909 hat ein Autor (A. T. FRASER) die vulkanische Herkunft der Kohle behauptet. Vergl. auch das Historische zum Petroleum hinten Gesagte. Nach MEYDENBAUER (1906) haben gewaltige meteorische Einschläge auf die Erde fabelhafte Sturzwellen erzeugt, die die derzeitigen Vegetationen bedeckten. Doch genug!

Noch heute heißt es: hie Autochthonisten, hie Allochthonisten, ohne daß die Gelehrten, die — z. B. bei der Zusammenstellung von Lehrbüchern — darauf angewiesen sind, die Literatur auszunutzen, in der Lage wären, dies in unserem Gegenstande mit hinreichender Kritik zu tun, weil ihnen natürlich nicht auf allen Spezialgebieten eigene Studien zur Verfügung stehen können. Und doch war das Tatsachenmaterial schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts so weit geklärt, daß NAUMANN (1854, p. 579—580) mit Recht von der Moortorf-Theorie sagen durfte: „Diese Ansicht, daß die Steinkohlenflötze aus vorweltlichen, torfmoorähnlichen Pflanzenschichten entstanden sind, ist . . . wiederum zu Ehren gekommen und zu einem solchen Grade der Wahrscheinlichkeit erhoben worden, daß sie wohl nicht wieder durch eine andere Ansicht verdrängt werden dürfte“. Durch die Unkenntnis der Autoren von dem bereits auf unserem Gebiet Erworbenen und seiner unrichtigen Einschätzung, konnte dann aber F. TOULA viel später (1888) wieder zu der Ansicht kommen, es scheine sich „das Zünglein an der Wage etwas gegen die Seite jener hinneigen zu wollen, welche dem Transport das Wort reden“. Aber in Berücksichtigung der heutigen Literatur sagt KARL ALFRED ZITTEL ebenso zutreffend in seiner Geschichte der Geologie und Paläontologie (1899): ob die Steinkohlenflötze autochthon oder allochthon sind, „läßt sich nach dem jetzigen Stand der geologischen Literatur nicht mit Bestimmtheit beantworten“. Der Grund dafür liegt, wie wir sahen, klar auf der Hand. Die Vergleichspunkte, die die Moore der Gegenwart mit den Steinkohlenlagern bieten, sind bisher immer nur ganz oberflächlich herangezogen worden oder immer nur in Einzelheiten. Es fehlte den vielen Autoren, die sich um unseren Gegenstand gekümmert haben, eine hinreichende Kenntnis der Naturgeschichte der heutigen Moore, die selbst erst genauer aufzuklären war. Es ist daher verständlich, daß noch niemals der Versuch gemacht worden ist, im Hinblick auf die Steinkohlenlager dasjenige in genügender Ausführlichkeit aus der Moorkunde zusammenzustellen, was für die Annahme ihrer Autochthonie in Rücksicht zu ziehen wäre. Diese Lücke zu füllen, wird in dem vorliegenden Buch ein erster Versuch gemacht. Die Moorkunde und was mit ihr näher zusammenhängt, hat in den letzten Jahrzehnten endlich die nötige Berücksichtigung und daher Förderung erfahren. Wir sind daher jetzt wohl in der Lage, eine Übersicht zu gewinnen und

den Zeitpunkt eines Vergleiches mit den Steinkohlenlagern für gekommen zu erachten.

Die vorn p. 2 angedeutete Klassifikation der Kaustobiolithe stammt vom Verf. Ein besonderes Hindernis, vorwärts zu kommen, war, daß der Faulschlamm nicht klar vom Humus (vom Torf) unterschieden wurde, und doch war man sowohl hinsichtlich der Urmaterialien als auch in chemischer Hinsicht bereits auf dem richtigen Wege. Ich finde z. B. über einen auch vielfach als „Braunkohle“ bezeichneten Sapropelit der Tertiärformation, den „Dysodil“, bei TASCHÉ (1853) die folgende Angabe: „Der Dysodil dürfte ein Erzeugniß von mikroskopischen Algen und Schlamminfusorien seyn“, wobei unter *Infusorien* natürlich nicht nur die Mikroorganismen zu verstehen sind, die wir heute allein damit bezeichnen, sondern noch eine Anzahl anderer, wie *Diatomeen* u. dergl. Der Chemiker M. H. KLAPROTH hat aber schon 1807 (!) trefflich die Verschiedenheit seines „neuen brennlichen Fossils aus Ostpreußen“ (nämlich subfossiles Sapropel = Saprokoll) vom Torf begründet. Das ist aber vollständig unbeachtet geblieben und schnell in Vergessenheit geraten, und die Schuld daran trägt wohl zum guten Teil, daß es sich um eine nur wenig umfangreiche Arbeit handelt und daß KLAPROTH dem neuen Kaustobiolith keinen besonderen Namen gegeben hat, der in den mineralogischen Lehrbüchern aufgenommen und so vor Vergessenheit bewahrt werden konnte. Man hatte daher nicht gemerkt, daß auch die fossilen Kohlen in zwei Gruppen zu bringen sind, in Humuskohlen und in Sapropelkohlen, und so konnte noch C. EG. BERTRAND in unserer Zeit über die Genesis der Kohlen vom Boghead-Cannelkohlentypus (das sind nämlich Sapropelkohlen) zu der Ansicht kommen, daß zunächst ein Niederschlag von gelöst gewesenen Humus stattgefunden habe, der die braune homogene Humussubstanz der Kohlen lieferte, sodann seien figurierte Pflanzenteile (wie Algen als Algen-Wasserblüte, Sporen und Pollen als Schwefelregen und andere hinzugedriftete Pflanzenteile) und Tiere mit ihren Exkrementen hinzugekommen, die in dem Niederschlag eingebettet sich dort um so besser figuriert hätten erhalten können, als nun drittens eine „bituminöse“ Infiltration des Ganzen stattgefunden habe, die BERTRAND annimmt, um die chemischen Eigenschaften der Gesteine, die in dieser komplizierten Weise entstanden sein sollen, zu erklären, die ja als „Öl-Schiefer“ usw. Bitumina liefern. Es ist interessant, daß auch bezüglich der Torfe früher eine Durchtränkung mit Bitumen angenommen wurde. Bei der Vorführung der älteren Theorien über die Torfbildung sagt nämlich u. a. DAU (1823, p. 15): „endlich soll nach der meisten Meinung ein Bergöl oder Erdharz diese vegetabilische Masse durchdrungen und dadurch brennbar gemacht haben“. In der Geschichte der Torfkunde hat also ebenso wie bei den Steinkohlen nicht bloß die Tangtheorie eine Rolle gespielt.

Wir sehen: Kritisch gewonnene, für unsere Frage ausschlaggebende Tatsachen haben auf die jeweilige Tageswissenschaft keine hinreichende Wirkung ausgeübt, namentlich wenn sie äußerlich anspruchslos aufgetreten sind. Mehr Ausschlag gegeben hat der Umfang der einzelnen Schriften. „Jede neue Ansicht — sagt CHARLES DARWIN (Biographie I, p. 76) — muß in ziemlicher Ausführlichkeit mitgeteilt werden, um die öffentliche Aufmerksamkeit zu erregen.“ Es ist sehr bedauerlich, daß auch die Wissenschaft so abhängig von Äußerlichkeiten ist, daß hier noch keine Wege gefunden sind zu einer Unabhängigkeit davon: dann wären wir in unserer Frage schon lange viel weiter.

Zersetzungsprozesse

Zu einer ausgiebigen Beantwortung unserer Frage dürfen wir uns nicht auf eine vorausgehende Betrachtung der Moor-Bildungen allein beschränken, sondern es ist unerlässlich sich ganz generell zu vergegenwärtigen, wo und wie, unter welchen Bedingungen zur Gegenwart überhaupt Kaustobiolithe erzeugt werden, womit sich die notwendige Vorfrage nach den Vorgängen verknüpft, die sich nach dem Absterben der Organismen mit den organischen Substanzen abspielen. Auf diese Vorfrage gehen wir daher zunächst ein.

Wir unterscheiden: Verwesung, Vermoderung, Vertorfung und Fäulnis.

Unter Verwesung wollen wir eine Zersetzung organischen Materials verstehen, bei der nichts Festes zurückbleibt, also keine festen, kohlenstoffhaltigen Verbindungen, keine Produkte, die irgendwie z. B. ein Kohlenlager zu bilden imstande wären: eine Zersetzung, bei der also alles in gasförmige und nichts in dauernde kohlenstoffhaltige, flüssige oder feste, brennbar bleibende Produkte übergeht. Es entsteht vielmehr Kohlendioxyd, Wasser usw.

Jedoch gibt es brennbare Stoffe, die von den Organismen erzeugt werden, die sich sehr schwer, jedenfalls auch unter den günstigsten Umständen sehr viel schwerer zersetzen als die übrigen Stoffe, die die Organismen bilden, wie z. B. Zellulose, Protoplasma u. dergl. Zu diesen auch unter den üblichen Verwesungs-Bedingungen sehr viel länger Stand haltenden Stoffen gehören u. a. die Harze, Wachsharze u. dergl., die daher leicht bis zuletzt allein zurückbleiben (Liptobiolithe) im Gegensatz zu den aus nicht so vollständiger Zersetzung entstehenden Kaustobiolithen, hervorgegangen aus Landpflanzen einschließlich der Sumpfpflanzen (Humusgesteine). Wenn die Materialien freilich keine in

der angedeutenden Weise kaustobiolithisch haltbaren Bestandteile enthalten, kann natürlich kein Liptobiolith entstehen, d. h. nicht alle brennbaren organogenen Teile sind befähigt, einen Liptobiolith zu hinterlassen.

Unter dem Prozess, den wir als Vermoderung bezeichnen, wollen wir die Zersetzung unter nicht hinreichendem Sauerstoffzutritt verstehen, so daß eine vollständige Zerlegung zu Wasser, Kohlendioxyd usw. nicht stattfinden kann, sondern so, daß immerhin ein geringer kohlenstoffhaltiger, fester Rest zurückbleibt. Wir nennen speziell die festen Humusprodukte, die unter nicht genügendem Sauerstoffzuflusse zurückbleiben, Moder. Es ist das, was wir in feuchten Wäldern auf dem Boden erblicken, was in den Parkböden die schwarze Färbung verursacht; unter Umständen bilden sich Lager von Moder.

Eine sehr häufige Zersetzungsform ist die Vertorfung. Hierunter hat man zu verstehen die Zersetzung der organischen Bestandteile zunächst in derselben Weise wie bei der Bildung des Moders, also unter Zutritt von Sauerstoff, aber doch nicht dauernd unter genügendem Zugang dieses Elements. Da nun aber in den Mooren, die gerade dem Vertorfungsprozesse unterliegen, das Pflanzenwachstum so fortschreitet, daß eine Anhäufung von Humus (hier Moortorf genannt) dadurch stattfindet, daß die neuen Pflanzengenerationen immer auf den in Zersetzung begriffenen Teilen ihrer Vorfahren emporsprossen, so wird dadurch ein immer weiter gehender Abschluß für die in Zersetzung begriffenen Bestandteile erreicht und schließlich ein völliger Luftabschluß, und das ist die Hauptbedingung für den vierten Prozeß, den wir zu unterscheiden haben, — den Prozeß der Fäulnis.

Es ist für uns gleichgültig, ob für andere Zwecke der Begriff der Fäulnis besser anders zu definieren sein würde, wir wollen — im Anschluß an LIEBIG — als Fäulnis die Zersetzung organischen Materials unter völligem Luftabschlusse verstehen. In der Natur sind die genannten Prozesse selbstverständlich fast niemals völlig rein vorhanden, sondern gehen ineinander über und durchkreuzen sich.

Bei den beiden Prozessen der Vermoderung und Vertorfung wird also Moder und Torf erzeugt, und da hier eine Anreicherung an Kohlenstoff stattfindet, würden wir schließlich Produkte erhalten, deren fortschreitende Zersetzung man von der p. 7 schon kurz erwähnten Verkohlung unterscheidet: man spricht deshalb hier zweckmäßig mit GÜMBEL von einer Inkohlung.

Bei der Verkohlung entsteht das Element Kohlenstoff, und zwar kommen als Ursachen für die Bildung von Kohlenstoff (Holzkohle usw.) in der freien Natur in Betracht 1. die Dehydratisierung, etwa durch Schwefelsäure, die ja in manchen natürlichen Gewässern vorhanden ist, 2. die Selbstentzündung und 3. das Anbrennen organischer Substanz, etwa veranlaßt durch Blitzschlag.

Bei der Inkohlung handelt es sich jedoch um eine langsame Zersetzung, wesentlich eine Selbstzersetzung, während im Beginn der Zersetzung an dieser wohl fast immer auch lebende Organismen, wie u. a. Bakterien mitarbeiten. Steinkohle ist also kein Kohlenstoff, abgesehen von den etwaigen untergeordneter vertretenen Holzkohlenteilen, sondern ein Gemenge wesentlich von festen Kohlenwasserstoffverbindungen. Es ist wohl zu beachten, daß die eigentlichen, echten, fossilen „Kohlen“ zum Schmelzen gebracht werden können, sich dabei aufblähen und daher als Rest beim Erhitzen unter Luftabschluß den porösen Koks (d. h. Kohlenstoff + Asche) ergeben, daß ferner manche Kohlen sich in gewissen Macerationsflüssigkeiten vollständig lösen lassen, was beides mit Kohlenstoff nicht möglich ist.

Von der Inkohlung ist zu unterscheiden die Bituminierung. Die Materialien, die diesem Prozeß unterliegen, sind die, die das Sapropel bilden. Es soll damit gesagt sein, daß auch die ursprüngliche chemische Beschaffenheit des der Inkohlung anheimfallenden Materials mit in Betracht kommt. Denn handelt es sich um Tiere und echte Wasserpflanzen, unter diesen z. B. um ölführende Algen, die sich in chemischer Hinsicht wegen ihres starken Fett- und Proteingehalts den Tieren nähern, so wird durch die Fäulnis nicht ein so ausgesprochener Inkohlungsvorgang eingeleitet, sondern es findet eine Bituminierung statt, wie ich im Gegensatz zur Inkohlung die stärkere Erzielung von solchen Produkten (Bitumina) nenne, die wasserstoffreicher sind als die echten Kohlen. Bitumengehalt eines Kaustobioliths bedeutet seinen Gehalt an Destillierbarem, besonders sofern er in dem Teerquantum und brennbaren Gas zum Ausdruck kommt.

Wenn auch die Zersetzung da, wo Mangel an Sauerstoff herrscht, sehr weitgehend zurückgehalten wird, so hört doch die weitere, freilich sehr langsam vor sich gehende Zersetzung selbst dann nicht auf, wenn ein Zugang von Sauerstoff gänzlich ausgeschlossen ist. Dann erfolgt vielmehr eine sehr langsame Selbstzersetzung, die sich u. a. durch die Entwicklung von Kohlendioxyd und auch Methan und die Bildung von Wasser anzeigt. Sie ist bei der Bituminierung dadurch charakterisiert, daß der Sauerstoffgehalt des Kaustobioliths mehr und mehr abnimmt, der Wasserstoffgehalt jedoch — und das ist besonders wichtig — so gut wie ständig derselbe bleibt. Dadurch entstehen relativ wasserstoffreiche, feste Kohlenwasserstoffe, das sind eben Gesteine, die man als besonders bituminös zu bezeichnen pflegt. Die Inkohlung weicht also dadurch von der Bituminierung ab, daß bei ihr nicht nur der Sauerstoffgehalt, sondern auch der Wasserstoffgehalt allmählich immer mehr und mehr abnimmt.

Von diesem chemischen Standpunkte aus ist kurz zu sagen: Wo die Kohlenhydrate überwiegen, entsteht Humus, — wo Stoffe, wie

Proteine, Fette, Chitin usw. überwiegen, entsteht Sapropel, — wo Wachs, Wachsharz, Harz und Cutin, auch Pektin reichlicher vorhanden ist und Gelegenheit zur Verwesung, sodaß diese schwer zersetzlichen Verbindungen zurückbleiben können, entstehen Liptobiolithe.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Zersetzungsprozesse und die resultierenden rezenten Kaustobiolithe.

| | Bezeichnung der Prozesse | Verhalten des O | Verhalten des H ₂ O | Es handelt sich kurz | Entstehende Gesteine |
|--|-------------------------------------|---|---|---|---|
| Prozesse, denen besonders Land- und Sumpfpflanzen ausgesetzt sind: | Verwesung, sie findet statt . . . | bei voller Gegenwart von O | und Vorhandensein von Feuchtigkeit | um eine vollständige Oxydation | Es bleiben keine brennbaren C-haltigen Produkte zurück, unter Umständen höchstens Liptobiolithe |
| | Vermoderung, sie findet statt . . . | bei Gegenwart von weniger O | | | |
| | Vertorfung, sie findet statt . . . | zunächst bei Gegenwart, sodann bei Abschluß von O . . . | und zunächst bei Gegenwart von Feuchtigkeit, sodann in stagnierendem H ₂ O | wesentlich um Destillationen: Reduktionen | Inkohlung |
| Prozeß, dem besonders die echten Wasserorganismen ausgesetzt sind: | Fäulnis, sie findet statt . . . | bei Abschluß von O . . . | und in stagnierendem H ₂ O | | |

Heutige Bildungs- und Lagerstätten von Kaustobiolithen

Gehen wir nunmehr etwas näher auf die rezenten Bildungs- und Lagerstätten der Kaustobiolithe ein, um das Verständnis für die fossilen zu gewinnen. Denn es erscheint mir geeignet, wenigstens das Wesentlichste über die heutigen Verhältnisse im voraus gesondert zu betrachten, um zu sehen, welcher Tatsachenkomplex für die Beurteilung der fossilen Vorkommnisse zu beachten ist.

Über die Vorgänge, die die Urmaterialien an die Orte gebracht haben, wo wir jetzt die Kaustobiolithe finden, wurde p. 9 schon der wichtigste Gegensatz zwischen bodeneigener und bodenfremder Bildung hervorgehoben. Übersichtlich sind zu unterscheiden:

A. Autochthone Kaustobiolithe, diejenigen, die aus Organismen hervorgegangen sind, die dort lebten, wo wir heute die Kaustobiolithe finden. — Die für uns wichtigsten Unterschiede innerhalb der Autochthonie sind folgende:

- a) Die terrestrische Autochthonie, wenn es sich um Pflanzen handelt, die wesentlich an der Luft leben und an ihrem Standort zu Kaustobiolithen werden.
- b) Die aquatische Autochthonie, die in Frage kommt bei den im Wasser lebenden Organismen — vorwiegend Schweborganismen —, die nach ihrem Absterben zu Boden sinken und sich dort anhäufen. Dieser Vorgang ist demnach eine Sedimentierung, aber eine autochthone Sedimentierung im Gegensatz zu einer allochthonen Sedimentierung von herbeigeführtem Sand, Ton usw.

B. Allochthone Kaustobiolithe, und zwar sind diese wie folgt zu trennen:

- a) Primär allochthone Kaustobiolithe, d. h. diejenigen, deren Urmaterialien einen Transport erlitten haben und erst an ihrer Ablagerungsstelle zu Kaustobiolithen geworden sind.
- b) Sekundär allochthone Kaustobiolithe, d. h. diejenigen, die ursprünglich als Kaustobiolithe zu A oder Ba gehörten und dann umgelagert worden, also Kaustobiolithe an zweiter Lagerstätte sind. Es ist darauf zu achten, daß es sich bei den primär allochthonen Kaustobiolithen um Material aus gedrifteten lebenden oder im Absterben begriffenen oder eben erst abgestorbenen frischen Lebewesen und Teilen derselben, — bei den sekundär allochthonen Kaustobiolithen hingegen um bereits zu Kaustobiolithen gewordenen Material, das umgelagert wurde, handelt.

Sapropelite

Die Bildungs- und Lagerstätten für Sapropelite sind ruhigere Wasserstellen, die durch diese Kaustobiolithe in echte Sümpfe umgewandelt werden¹⁾. Küstennahe Stellen bieten ganz besonders oft

¹⁾ Die „echten“ Sümpfe (mit unbegehbarem, tiefem Schlamm erfüllte Stellen: Schlammsümpfe) stehen im Gegensatz zu den dauernd nassen, mit wenig tiefem Wasser und daher mit einer Sumpfvegetation bedeckten Geländen, die einen begehbaren Untergrund besitzen. Man könnte bequem die letztgemeinten Sümpfe als Halbsümpfe unterscheiden. Halbsümpfe mit Torfboden sind dann Sumpfmooere.

die für eine Sapropelbildung günstigen Bedingungen, weil hier solche Wasserstellen sehr häufig sind.

In einem in allen Teilen bewegten, Sauerstoff führenden Wasser kann eine Humus- oder Sapropelablagerung niemals stattfinden, es sei denn, daß die Wassertrübe das organische Material rechtzeitig durch Bedeckung mit mineralischem (insbesondere mit Ton-)Sediment abschließt. In einem stagnierenden Wasser dagegen, das ja besonders in seinen unteren Partien keinen Sauerstoff enthält, oder dem doch nur geringfügige Mengen davon zugeführt werden, sind die Bedingungen vorhanden, um organisches Material so von der Luft fernzuhalten, daß eine „Fäulnis“ stattfinden kann. Wir haben in Norddeutschland Seen, die so weit mit Sapropelit gefüllt sind, daß sie nicht mehr mit Booten befahren werden können. Diese und überhaupt die geeigneten Wasserstellen sind mit organischem Schlamm, d. h. mit einem fließenden, organischen Brei erfüllt und infolgedessen vollständig unbegebar. Die wesentlichen Urmaterialien solcher Sümpfe sind echte Wasserorganismen, Fig. 7 und 8, nicht aber Sumpf- und Landpflanzen, welche die Urmaterialien des Humus, insbesondere des Torfes sind, Fig. 6. Unter den echten Wasserorganismen, die einen organischen Schlamm erzeugen, spielen die mikroskopischen Lebewesen, und zwar in erster Linie die Schwebeorganismen, die hervorragende Rolle. Sie werden bekanntlich als Plankton zusammengefaßt. Sofern Planktonlebewesen in ruhigen Wässern vorhanden sind, sinken ihre abgestorbenen Leiber zu Boden und erzeugen hier bei unvollständiger Zersetzung den Faulschlamm, das Sapropel. Faulschlamm kann sich nach und nach viele Meter mächtig anhäufen und zur Verlandung eines Wassers wesentlich beitragen.

An geeigneten Stellen — und diese sind häufig — können die Individuen, die das Plankton bilden, in erstaunlich großer Zahl vertreten sein. Deshalb kommt es bei der Sedimentierung mehr in Betracht als die Reste der abgestorbenen Fische und anderer größerer, sapropelbildender Organismen. Das wird gemeinhin übersehen. Die Mengen organischen Stoffes, welche die pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen und die kleineren Organismen erzeugen und welche jahrein jahraus an geeigneten Stellen zu Sapropel werden, genügen vollkommen zur Schaffung der vorhandenen mächtigen Sapropel-Ablagerungen. Bedenkt man noch, daß Mikroorganismen sich sehr viel leichter ansiedeln als Makroorganismen, wie Fische u. dergl., so erhellt leicht die Bedeutung des Planktons für die Faulschlamm-Bildung. Wie sich bei geologischen Studien so oft zeigt, sehen wir auch hier wieder, daß das Kleine und Kleinste, das in seiner Wirkung innerhalb der kurzen Spanne eines Menschenlebens kaum Beachtung zu verdienen scheint, in den Zeiträumen, die die Geologie zu messen hat, einen großen Ausschlag zu geben vermag.

Besonders bequem läßt sich eine Vorstellung über die Masse des durch das Plankton geschaffenen organischen Stoffes durch Betrachtung der Algen-Wasserblüte gewinnen. Sie besteht darin, daß das Wasser unter geeigneten Verhältnissen auffallend gefärbt (z. B. grün) und ganz trübe wird, was auf der massenhaften Produktion kleiner Algen beruht.

Irgend welche Katastrophen oder ihnen mehr oder minder nahe kommende Vorgänge annehmen, um ein plötzliches großes Sterben vieler vorhandener Organismen zu erklären, die das viele vorhandene Sapropel geliefert hätten, kann nur derjenige, der die vorher angedeuteten, alltäglichen Vorkommnisse nicht kennt. Gewiß kann auch einmal eine Katastrophe die Sapropelmasse anreichern, aber das sind Ausnahms-Erscheinungen, ebenso wie die Wirkung von H_2S auf das Absterben von Organismen wie u. a. am Grunde des Schwarzen Meeres, wo — wie an vielen anderen Orten auch — durch das Zusammentreffen sich zersetzender organischer Teile mit den S-Salzen des Meereswassers durch Reduktion H_2S entsteht.

Dort, wo in ein Gewässer, in welchem Faulschlamm zur Ablagerung gelangt, außerdem ein nichtorganisches Material, wie Ton oder Feinsand oder gröberer Sand, hineingeführt wird, sei es durch Zuflüsse, sei es aber auch durch den Wind, der z. B. in Dünengebieten Sand, oder an anderen Stellen sonstigen Staub, wie Löß, hineinbläst, da entsteht ein gemischter Schlamm aus Sapropel und den erwähnten Zutaten. Das Sapropel kann auch aus anderen Gründen viele nicht brennbare Produkte enthalten, dann nämlich, wenn in einem Wasser, das reich an Kalk oder Kieselsäure ist, infolgedessen Organismen diese Verbindungen zum Niederschlag bringen.

Von Sapropeliten, die in dieser Weise zustande kommen, sind besonders 3 Gruppen bemerkenswert: es sind das die Sapropelkalke, die Diatomeenpelite (Kieselguren) und gewisse Schlickarten (Sapropeltone).

Wir kennen eine Anzahl Pflanzen, die den Kalk, der sich im Wasser in Lösung befindet, als Skelettmaterial zu ihrem Aufbau und Halt benutzen. Sie schlagen den Kalk in großen Mengen in sich nieder, wie gewisse Algen des Meeres. Andere Algen, die *Characeen* der Süß- und Brackwässer, und ferner höhere Pflanzen, wie *Potamogeten* usw., haben die Eigentümlichkeit, aus Wasser, welches Kalk in Lösung enthält, diesen Kalk an sich niederzuschlagen, der dann den Schlamm mehr oder weniger kalkhaltig macht. Dazu kommen Tiere mit Kalkschalen, wie die Mollusken. Wir erhalten so Kalksapropel. Diese Kalksapropel — oder bei reichlicherem Vorhandensein von Kalk Sapropelkalke — sind zunächst ebenso schlammig wie sonst frischer Faulschlamm. Erst in hohem Alter oder beim Trocknen an der Luft gewinnen sie feste Konsistenz.

Die Diatomeenpelite sind eine besondere Art von Sapropeliten, entstanden in Gewässern, die viel Kieselsäure und wenig oder gar keinen Kalk in Lösung enthielten, so daß darin Kieselalgen an Stelle von kalkabsondernden Pflanzen besonders reichlich zu leben imstande waren. Die Panzer der *Kieselalgen* haben sich mit den anderen Pflanzen und den abgestorbenen Tieren (*Crustaceen* u. dergl.) auf den Boden gesenkt und sind zu einem Gestein geworden, das nun natürlich besonders reich an Kieselsäure — und zwar an hydratisierter Kieselsäure (Opal) — in der Form von Kieselpanzern ist. Kieselgurablagerungen bestehen nicht ausschließlich aus Kieselpanzern, denn es haben in dem Wasser nicht nur Kieselalgen gelebt. Die Kieselgur muß wegen der in ihr vorhandenen brennbaren kohlenstoffhaltigen Substanz für die Technik erst brauchbar gemacht werden: sie wird gebrannt. Man häuft sie in lufttrockenem Zustande in Stücken zusammen, und sie brennt dann nach der Entzündung,

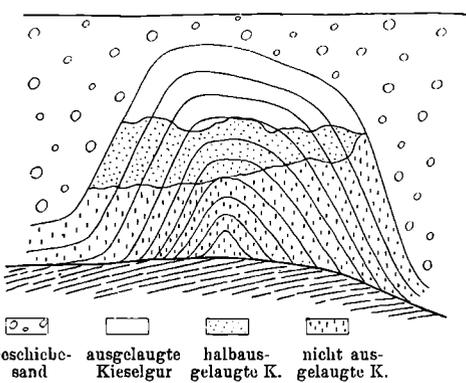


Fig. 4. Profil durch aufgesattelte Kieselgur-Schichten der Lüneburger Heide.

— da überall Luftzutritt geschaffen wird — vollständig weiß. Verhältnismäßig reine Kieselgur kommt in der Natur meist nur dort vor, wo eine nachträgliche Zersetzung und Auslaugung möglich war. — (Fig. 4.)

Wo mit der Bildung von Sapropel gleichzeitig eine allochthone Sedimentierung stattgefunden hat, z. B. von Ton, der sich an den ruhigsten Stellen von Gewässern absetzt,

die gerade auch der Sapropelbildung günstig sind, da haben wir Ton-sapropel oder Sapropelton. Hierher gehören gewisse Schlicke.

Sapropelite heißen alle diese Gesteine (einschließlich des Sapropels selbst), wenn sie so reich an Sapropel sind, daß ihnen dadurch wesentliche Eigenschaften verliehen werden, gleichgültig, ob sie sich noch im Schlammzustande befinden, oder ob sie subfossil gallertige Konsistenz angenommen haben, oder endlich fossil bereits vollständig erhärtet sind.

Enthalten die Sapropelite nur eine hinreichende Menge organischer Substanz, so sind sie in lufttrocknem oder in fossilem Zustande ungemein hart und fest und nur durch starke Schläge mit dem Hammer muschelig brechend zu zerschlagen.

Humus-Gesteine

Unter Humus versteht man jetzt das aus abgestorbenen Pflanzen oder Pflanzenteilen — ausschließlich der echten, ursprünglichen Wasser-

pflanzen, die Sapropel bilden — nach ihrer unvollständigen Zersetzung hervorgehende brennbare, braune oder schwarze Material. Da Humus sehr stark färbt, macht z. B. ein nur wenige Prozente Humus enthaltender Sand einen sehr stark humushaltigen Eindruck, oder er kann wie reiner Humus aussehen. Das Volk pflegt bereits solche dunkelgefärbten Bodengesteine, z. B. die Erde der Parkböden, Humus zu nennen; es ist jedoch daran festzuhalten, daß eben nur das kaustobiolithische Material Humus ist, also die gegebenenfalls beigemengten anorganischen Bestandteile nicht mit dazu gehören.

Die Urmaterialien für Humus sind Pflanzen, und zwar wesentlich Landpflanzen, jedenfalls solche, deren oberirdische Teile wesentlich an der Luft leben; von Wasserpflanzen kommen wesentlich nur diejenigen



Fig. 5. Granitblock mit Trockentorf-Decke, die an der einen Stelle zurückgeschlagen wurde, so daß hier der nackte Fels zutage tritt. Steinerne Renne im Harz.

in Betracht, die mit den höheren Landpflanzen enger verwandt sind, diejenigen, von denen angenommen werden muß, daß sie — wie die *Seerosen* (*Nymphaeaceen*) u. dergl. — nachträglich wieder zum Wasserleben zurückgekehrt sind. Die Sumpfpflanzen, d. h. diejenigen, die mit ihrem Fuße im Wasser oder in einem nassen Boden zu leben wünschen, spielen aber die hervorragendste Rolle, denn die Haupthumusbildungsstätten sind ständig nasse Örtlichkeiten, deren Wasser so träge ist, daß eine Sauerstoffzuführung für eine vollständige Verwesung verhindert wird. Demnach sind es mehr oder minder stagnierende Wasserstellen, sofern sie flach genug sind, daß Sumpfpflanzen dort wachsen können, die hier in Frage kommen, oder es sind solche Örtlichkeiten, deren Luftfeuchtigkeit bzw. deren Niederschläge hinreichen, um den Boden stets vernäßt zu erhalten. Wo diesen Bedingungen genügt ist, entstehen aus

den absterbenden Pflanzenmassen mächtige Humuslager, die man als Moore bezeichnet. Der Humus der Moore ist der Moortorf.

Es gibt nämlich noch andere Humusarten. Einen Gegensatz zum Moortorf bildet der Trockentorf (der sogen. Rohhumus). Er entsteht — hinreichende Luftfeuchtigkeit vorausgesetzt — auf trockenem Boden, selbst auf Felsblöcken, Fig. 5, von denen auftreffendes Wasser sofort herunterfließt. Ferner sei der Moder genannt (vergl. p. 16). Es ist ein in stärkerer Zersetzung als der Torf begriffenes Humusmaterial und findet sich z. B. in Wäldern mit gut durchlüftetem Boden und starkem Laubfall bezw. starker Pflanzenproduktion, bei deren Zersetzung daher

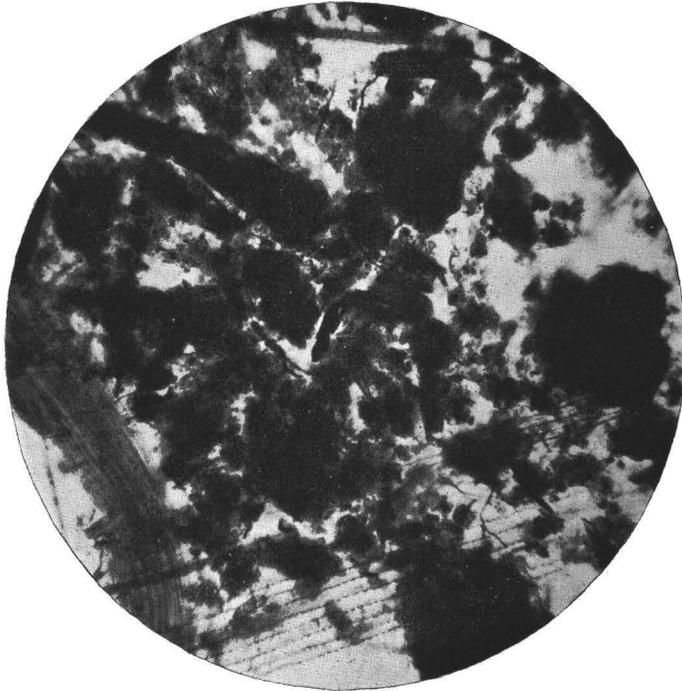


Fig. 6. Mikroskopisches Bild einer Flachmoortorf-Probe.
Unten gehen Gewebefetzen höherer Landpflanzen durch das Bild.

leicht etwas Humus zurückbleibt. Gegenüber dem Torf handelt es sich aber beim Moder um ganz untergeordnete Vorkommen. Wo eine stärkere Bodenbewegung durch regelmäßig grabende Tiere (Regenwürmer, Nagetiere usw.) vorhanden ist, wird der Moder oder auch anderer Humus dem anorganisch-mineralischen Boden beigemischt, und so entsteht das, was man Humuserde nennt.

Die den Humus produzierenden Organismen sind generell von den Sapropel erzeugenden Organismen in chemischer Hinsicht stark verschieden (p. 3). Da bekanntlich die Landpflanzen wesentlich aus Kohlenhydraten bestehen, ist es begreiflich, daß auch ihre Zersetzungsprodukte,

P

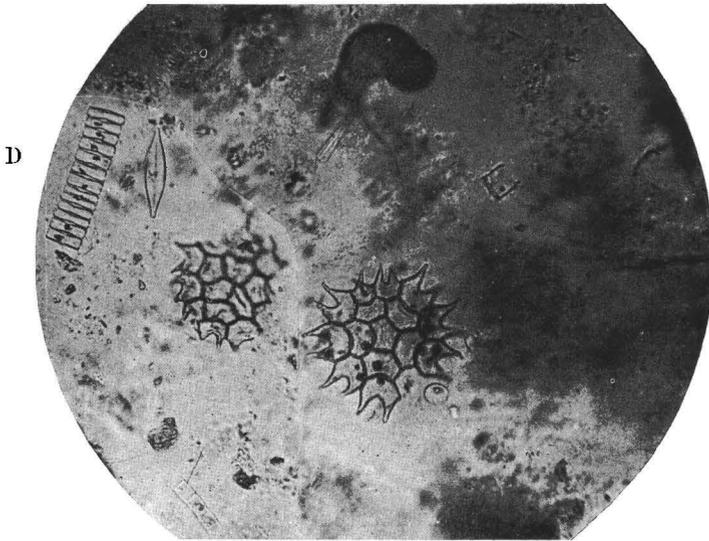


Fig. 7. Mikroskopisches Bild von Sapropel (aus dem Ahlbecker Seegrund bei Ludwigshof in Pommern) mit mehrzelligen Algen (*Pediastrum*), bei D *Diatomaceen*-Schalen, bei P Pollenkorn von der Kiefer (*Pinus silvestris*).

P

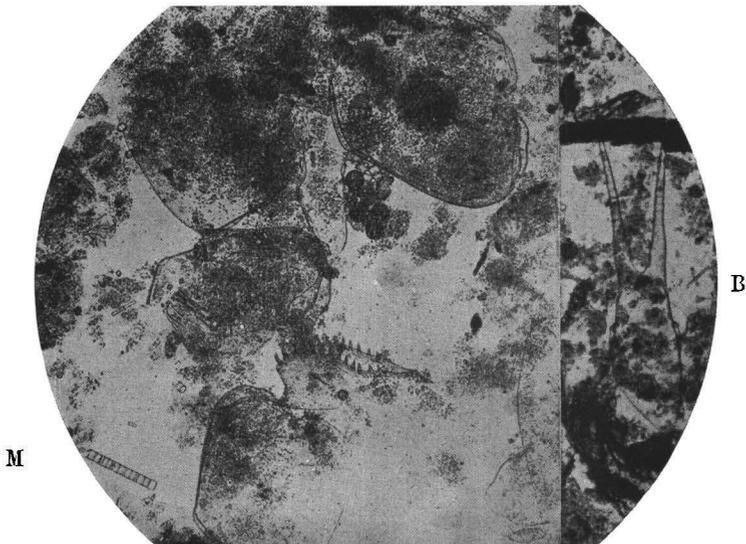


Fig. 8. Mikrophotogramm von Sapropel (derselben Herkunft wie Fig. 7); (ca. 75fache Vergrößerung). Namentlich Kleinkrebsreste: B = Kopfstück einer *Bosmina*, P = Panzerreste von *Cladoceren*, außerdem *Pediastrum*, *Melosira* (M) und *Pinus silvestris*-Pollen (über dem Zentrum des Bildes).

d. h. die resultierenden Kaustobiolithe, von denjenigen, die Sapropel als Grundlage besitzen, abweichen müssen: Es entsteht eben Humus oder fossiler Humus, nämlich Humus-Braunkohle und Humus-Steinkohle, die schon durch ihren weit geringern Gasehalt von den Sapropeliten abweichen. (Vergl. auch vorn p. 17 über „Bituminierung“).

Humusgesteine, mögen sie rezent sein oder paläozoisches Alter haben, sind im Gegensatz zu Sapropeliten stets leicht mechanisch angreifbar. Selbstverständlich gibt es Übergangsbildungen, denn wo Torf entsteht, kann sich z. B. während der Überschwemmungen auch Sapropel bilden, und es ergibt sich dann ein gemischter Kaustobiolith, wie er häufig auch fossil in der Streifenkohle vorliegt, deren Glanzkohlenstreifen dem Torf und deren Mattkohlenstreifen dem Sapropel entsprechen.

Unter dem Mikroskop zeigen die Humusgesteine — gleichgültig ob sie rezent, subfossil oder altfossil sind — in einer flockigen, sonst homogenen Grundmasse eingebettet figurierte Bestandteile, die sich für den botanisch-anatomisch Bewanderten sehr leicht als von höheren Landpflanzen herstammend herausstellen (s. Fig. 6).

Ganz anders ist es bei den Sapropeliten, bei denen es natürlich ebenfalls gleichgültig ist, ob sie rezent, subfossil oder ganz alt, etwa karbonisch, sind. Hier erblickt man übereinstimmend unter dem Mikroskop, sofern in der homogenen Grundmasse noch geformte, von den Organismen herrührende Bestandteile zu erkennen sind, solche von echten Wasserorganismen: mikroskopische Algen, kleine Krebse u. dergl. (s. Fig. 7, 8 und 9).

Unter den Produkten der Humusbildung sind gewisse in Wasser löslich (man nennt diese löslichen Humusstoffe meist „Humussäuren“); diese werden dann gern von Bächen und Strömen fortgeführt. Es ist angenommen worden, daß aus solchen Wässern, den „Schwarzwässern“, durch Niederschlagen der löslichen Humusstoffe, die Steinkohlen sich gebildet hätten. Schwarzwässer sind in Brasilien häufig (der Rio Negro hat von der braunen Farbe seinen Namen), in Schottland (Bäche und Seen), in vielen Teilen Deutschlands usw. können sie beobachtet werden, der Kongo gehört zu den Schwarzwässern usw. Sobald diese Wässer aber auf das Meer hinaus kommen, und auch während ihrer Bewegung zum Meere hin, zersetzen sich die organischen Bestandteile, es bleibt schließlich — populär gesprochen — „Nichts“ oder so gut wie Nichts übrig. Beobachtet sind erhebliche Ablagerungen von löslichen Humusstoffen und deren „Verbindungen“ nicht. Nur untergeordnet sind sie zu beobachten, wie in Torfen der Dopplerit (benannt zu Ehren von DOPPLER), ebenso wie die verkittende Substanz des Humus-„Ort“.

In dem Dopplerit handelt es sich um eine in bergfeuchtem Zustande fest-gallertige, homogene Humusmasse; sie füllt in Torflagern

namentlich Spalten aus, in denen der Niederschlag der gelöst gewesenen Humusstoffe erfolgt ist.

Der Humus-Ort entsteht in der folgenden Weise (Fig. 10.) Wo eine Vertorfung eingetreten ist, wird der Mineralboden unter dem Torf durch das Eindringen von löslichen Humusstoffen mehr oder weniger stark entfärbt, infolge der Auflösung (Auslaugung) leichter löslicher mineralischer Bestandteile (Eisen- usw. Verbindungen), die tiefer geführt sich dort zusammen mit dem Humus wieder ausscheiden. Es bildet sich so eine „Orterde“ (bei noch erdiger Beschaffenheit). Bei uns speziell handelt es sich, da in derselben Zone auch die löslichen Humusstoffe zum Niederschlag kommen, um Humusorterde oder, wenn die gefällten Humusstoffe die Gesteinspartikel miteinander verkitten, um Humusortstein.

Die wesentlichsten Bildungs- und Lagerstätten von Humusgesteinen sind aber die „Moore“. Von den Humuslagerstätten der Gegenwart sind es ausschließlich diese, die eine gewaltige Menge von Humus produzieren und in dieser Beziehung allein mit den Lagerstätten unserer fossilen Humusgesteine, den Braun- und Steinkohlenvorkommen zu vergleichen sind.

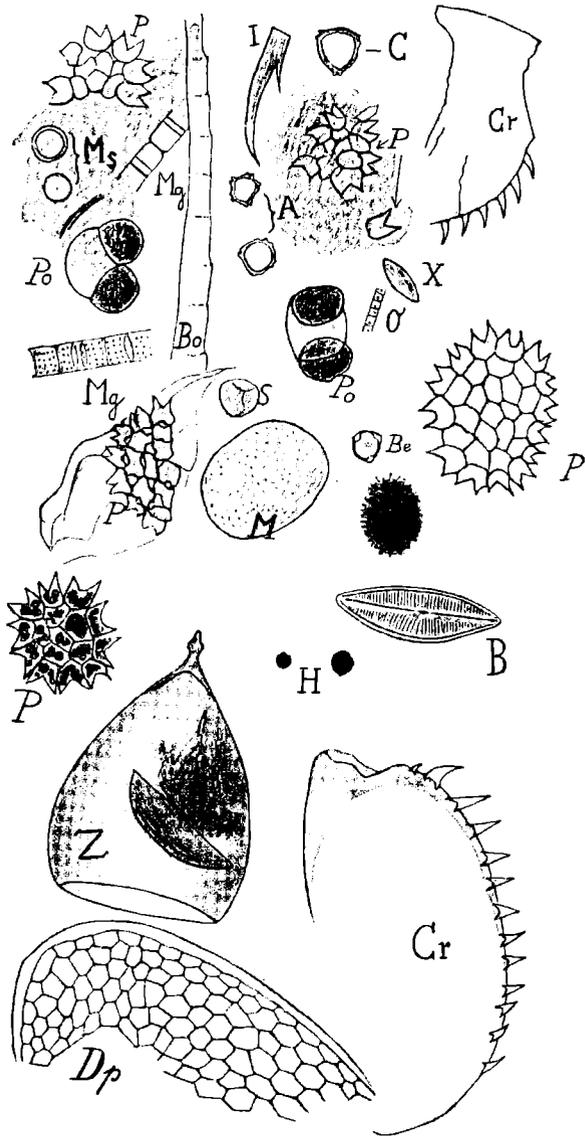


Fig. 9. Figuriert erhaltene Reste im Sapropel von derselben Herkunft wie Fig. 7 und 8 (in $\frac{220}{1}$). Algen: B, Ms, Mg Diatomaceen, P *Pediastrum*, O *Oscillaria?* — Driftmaterialien: X, M, Po (*Pinus*-Pollen), C (*Corylus*-Pollen), A (*Alnus*-Pollen), Be (*Betula*-Pollen). — Tiere: Bo *Bosmina*-Antenne, Dp *Daphniden*-Haut, Cr u. I ebenfalls *Crustaceen*-Reste, Z Ei einer Wasserwanze (*Micronecta*).



Fig. 10. Profil zur Veranschaulichung der Genesis des Orts. Banzlau in Schlesien.
 a unangelaugter Sand, b Orterde, c angelaugter Sand, d jetzt Ackerboden.

Ein Moor ist ein Gelände mit einem mächtigeren Torfboden. Wenn Torf, jenes nach vollständiger Zersetzung der Vegetation zurückbleibende Brennmaterial, sich noch weiter bildet und anhöhrt, so haben wir es mit einem lebenden Moor zu tun; wir nennen ein Moor tot, sobald in ihm durch natürliche oder künstliche Entwässerung die Torfbildung ganz oder fast ganz unterbrochen wird. Denn nur, wenn der die Verwesung bedingende Sauerstoff der Luft abgehalten wird, vermag Torf zu entstehen, und das ist in der Natur gewöhnlich dort der Fall, wo die der Zersetzung anheimfallenden organischen Teile sich unter verhältnismäßig ruhigem Wasser befinden. Die im Werden begriffenen Torflagerstätten sind daher mehr oder minder sumpfig, d. h. naß und oft nur mit Anstrengung begehbar.

Wenn CORNELIUS TACITUS vor bald 2000 Jahren von Germanien sagte: es sei „im allgemeinen mit finsternem Urwald oder wüsten Sümpfen bedeckt,“ und einige hundert Jahre später PROKOP vom Niederrhein angab: dort befänden sich Sümpfe, in denen zu alten Zeiten die Germanen wohnten, so haben die beiden genannten Schriftsteller kurz und bündig für ihre Zeit gewiß das Richtige getroffen; denn Germanien besaß damals außer natürlichen Wäldern in allen Teilen des Landes große und kleine sumpfige Gelände, d. h. vor der Zeit der im Interesse der Kultur beginnenden, weitgehenden Entwässerungen. In Norddeutschland mögen Sümpfe und Moore rund $\frac{1}{12}$ der gesamten Landfläche eingenommen haben; sie gehörten demnach hier zu den charakteristischsten Geländeformen. Oft genug haben die Römer die Moore durch Holzdämme überquert, wovon die durch die Erhöhung der Moore jetzt weit im Innern der Torflagerstätten gut erhalten noch vorhandenen Balken und Knüppel Zeugnis ablegen. Es ist charakteristisch, daß die Römer diese Dämme nicht als Straßen, sondern als „lange Brücken“, *pontes longi*, bezeichneten.

Woran mag es liegen, daß trotz der auch heute noch große Strecken bedeckenden Moorgelände in Deutschland auf dem Gebiete der Moorkunde keine hinreichende allgemeine Kenntnis vorhanden ist?

Der Grund ist wohl darin zu finden, daß vor dem Beginn der neuzeitlichen, ordentlichen Moorforschungen in Zentraleuropa die meisten Sumpf- und Moorgelände als solche vernichtet worden sind. Der heutige Forscher hat demnach, zumal in den alten und älteren Kulturländern, das Gelände meist mühsam in seiner Phantasie, vor seinem geistigen Auge wieder erstehen zu lassen, um eine Anschauung zu gewinnen, wie es natürlicherweise war und ohne Kultur wäre. Er muß jetzt die wenigen entlegenen Stellen, die dem Urzustande noch mehr oder minder nahekommen, aufsuchen, um die nötige Auskunft zu erhalten.

Auf meinen mehrjährigen Bereisungen von Moorgebieten Zentraleuropas habe ich selbst nirgends mehr größere Moorgelände angetroffen,

die von der Kultur vollkommen unberührt geblieben wären, und das ist ja auch bei den langen Kultureinflüssen begreiflich. Aber sogar auf einer Bereisung Süd-Kanadas vom Atlantischen bis zum Stillen Ozean war es bereits schwierig, vollkommen intakte Moore zu finden, denn wir leben in einem Zeitalter künstlicher Entwässerungen. Auch die offenen, kleineren Gewässer fallen vielfach der Kultur immer mehr zum Opfer: haben doch nach der Berechnung WALSERS die kleinen Seen allein im Kanton Zürich innerhalb der letzten 250 Jahre um die Hälfte abgenommen; von 149 sind sie dort auf 76 herabgegangen. So ist es denn schon aus diesem Grunde verständlich, wenn heute, im allgemeinen wenigstens, die Einsicht in die naturhistorische Bedeutung der Sumpf- und Moorgelände für ein bestimmtes Land fehlt, umso mehr, als die Hauptverkehrswege und die Ansiedelungen Sumpf- und Moorland jetzt naturgemäß nach Möglichkeit meiden, während in der vorhistorischen Zeit verschlammende und vertorfende Gewässer oft aufgesucht wurden, wie die am Boden der ehemaligen Seen unter dem Torf und zwar oft in dem darunter liegenden Sapropelit aufgefundenen Reste der Bewohner von Pfahlbauten lehren. Waren doch gerade diese Wohnstätten bei ihrer etwas erschwerten Zugänglichkeit vorteilhaft durch die natürlichen Verhältnisse geschützt. Daß sich heute noch Teile alter und älterer Volksstämme in ziemlicher Reinheit bei uns vorfinden, wie die Litauer im Memel-Delta, ferner die Sorben (Wenden) im Spreewald und die Friesen an der Nordsee, ist auf den Schutz zurückzuführen, den große Moore bis noch vor kurzem geboten haben, denn sie waren tiefgreifende Scheiden zwischen Hüben und Drüben.

Die Moore werden eingeteilt in Flach-, Zwischen- und Hochmoore und zwar nach der Verschiedenartigkeit ihres Vegetationsbestandes, soweit dieser abhängig ist von der im Boden vorhandenen Menge der für die Pflanzen ausnutzbaren Nahrung. Man kann daher auch umgekehrt sagen: die Moore werden in ihren Haupttypen nach der Menge der für die Pflanzen ausnutzbaren Bodennahrung eingeteilt, was sich durch die Eigenart des Vegetationsbestandes zu erkennen gibt, insbesondere in der größeren oder geringeren Üppigkeit bzw. Kümmerlichkeit desselben. Die Flachmoore bergen strotzend und üppig aufwachsende Pflanzengestaltungen, die Hochmoore ganz im Gegensatz dazu kleine Pflanzenformen mit geringer Stoffproduktion, während die Zwischenmoorvegetation eine Mittelstellung einnimmt.

Wo demnach auf irgend einem Boden die Bedingungen zur Entstehung von Moortorf gegeben sind, da tritt denn auch entweder ein Flachmoor oder ein Zwischenmoor oder ein Hochmoor auf; aber auch an ein und derselben Stelle können die genannten Moortypen auf- und nacheinander in die Erscheinung treten, weil sie in ihren Endstadien hinsichtlich der Nahrungsverhältnisse ihres Bodens einer Bedingung entsprechen, die der nächstfolgende Moortypus verlangt.

Gehen wir daher von einem See aus, der die Bedingungen zur Faulschlamm-Bildung bietet.

Es sind, wie schon gesagt, die ruhigen Gewässer, die für die Entstehung von Sapropeliten in erster Linie in Frage kommen, da die Hintanhaltung oder wesentliche Erschwerung vollständiger Verwesung Bedingung ist; diese ist eben dort, wo mehr oder minder stehendes oder nur wenig bewegtes Wasser vorhanden ist, erfüllt, während stärker bewegte Gewässer durch ihren Sauerstoffgehalt eine Zersetzung ohne Zurücklassung von festen brennbaren Resten bewirken. Wir finden demnach Faulschlamm-Ablagerungen in Seen ohne oder mit nur sehr schwachen Zuflüssen in allererster Linie.

Welchen Unterschied bieten nicht die echten Faulschlammseen gegenüber denen, die kaum oder auch nicht einmal eine Spur unzersetzter organischer Reste aufzubewahren imstande sind!

Das organische Leben drängt sich mit Macht in den Bereich der Faulschlammseen, um ihn schließlich durch die Fülle des erzeugten organischen Stoffes ganz zu bewältigen. Es sieht aus wie ein Kampf, den die Lebewesen gegen das offene Wasser führen, das ihnen doch gerade die nützlichsten Lebensbedingungen bietet. Im Wasser selbst häuft sich von Jahr zu Jahr der organogene Schlamm immer mehr an und erhöht ständig den Seeboden. Vom Lande her treten die Sumpfpflanzen heran, die schließlich bei hinreichender Annäherung des Faulschlammes an den Wasserspiegel diesen Schlamm als Boden benutzen und vorpostenartig nach und nach sich vorschubend von der Wasseroberfläche Besitz ergreifen. Bei ausnahmsweise niedrigem Wasserstande oder nach künstlichen Seespiegelsenkungen kann der nackte Faulschlamm, d. h. noch unbestanden von Sumpfpflanzen, an der Oberfläche erscheinen (Fig. 11) und wer diesen tückischen, breiigen Boden nicht kennt, der meint wohl, ihn betreten zu können: Der Sumpf, der nunmehr an Stelle des Sees oder eines Teiles desselben vorhanden ist, gehört zu den gefährlichsten Geländen. Schon das Herankommen vom Lande her verbietet sich meist von selbst. So ist es denn unter natürlichen Verhältnissen und ohne besondere Vorkehrungen überhaupt oft unmöglich, das Ufer des verbleibenden Wasserspiegels eines Sapropelitesees zu erreichen. Alles an solchen Seen, mit alleiniger Ausnahme des Wassers selbst, ist organischer Herkunft!

Einen vollen Gegensatz bieten z. B. die bewegten Seen in geologisch jungen Gebirgen mit vielen Steilhängen und dadurch mit Steinschlag, der die Ufer und den Grund einnimmt. So ist das Wasser des Lüner Sees in Tirol unheimlich klar, sofern nicht ausnahmsweise die stark anschwellenden Zuflüsse Trübe mitbringen. Nur Forellen und einige andere Fische und wenige Organismen vermag der See zu erhalten. Das unbewaffnete Auge sieht überhaupt nichts von organischem Leben und

erblickt durch das kristallklare Wasser den Grund, wo bei Sonnenschein die Kalksteinbrocken einen sichtbaren Schatten werfen. Das stark

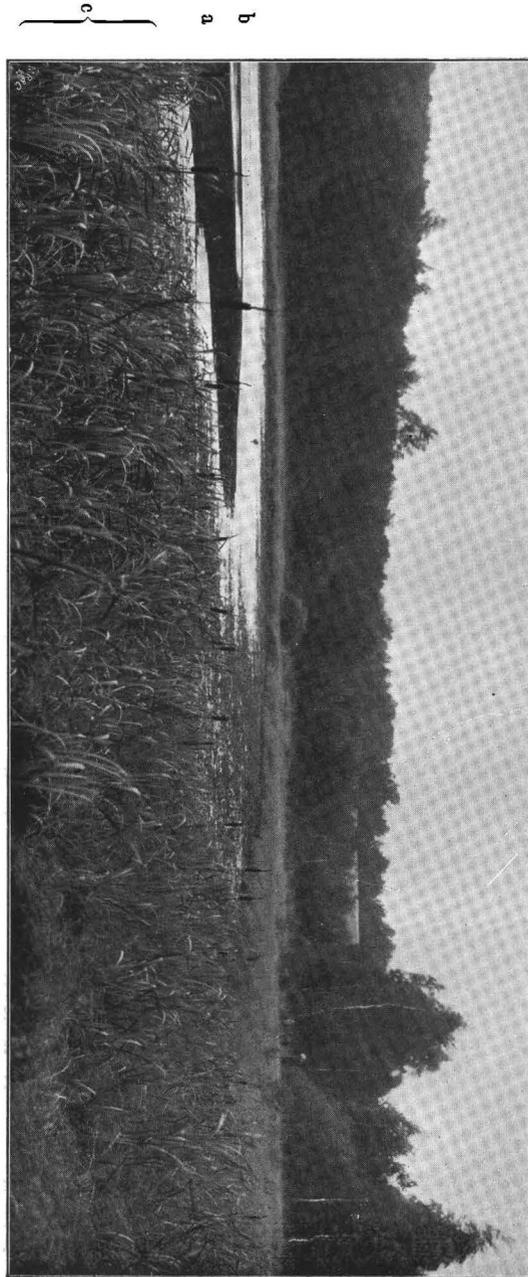


Fig. 11. See erfüllt mit (reinem) Sapropel.
 a Wasser, b Sapropel, c Röhricht. (Lieberrühl in Ostpreußen.)

bewegte einfließende Wasser, der Abfluß des Sees, der periodische Wechsel des Wasserstandes bedingen eine reichliche Sauerstoffzufuhr, die jegliche, auch noch so geringfügige Ansammlung von Faulschlamm

verhindert. Auch die Durchschnittskälte verhindert ein reicheres Planktonleben im Lüner-See.

Doch kehren wir zu unserem Sapropelsee zurück.

Durch die am Rande des Wassers lebenden Sumpfpflanzen geht der See nunmehr schneller seiner vollständigen Verlandung, seinem Erlöschen, entgegen, indem die Sumpfpflanzen, welche Torf bilden, immer weiter nach dem Zentrum vorrücken, bis schließlich von dem immer kleiner werdenden Wasserspiegel nichts mehr übrig bleibt. Wir haben dann an der Stelle des Sees ein Gelände mit Torfboden vor uns, unter welchem sich ein Sapropelit befindet: Aus dem Sumpf ist ein Moor geworden.

Aber ruhige Seen können auch durch Torfbildung vom Rande des windgeschützten Ufers aus verlanden, bevor er derartig mit Sapropelit erfüllt ist, daß dieser den Sumpfpflanzen als Boden dienen kann; denn schwimmende Vegetationsdecken vermögen vom Ufer aus ins Wasser hinauszustreben, hinauszuwachsen, Vegetationsdecken, die, indem sie Torf bilden, schließlich dick genug sind, um Menschen zu tragen, freilich auf einem schwingenden Untergrunde, wie er bei der schlammigen Beschaffenheit von Seen, die mit Sapropelit erfüllt sind, nach ihrer Vertorfung naturgemäß zunächst ebenfalls vorhanden ist. Schließlich wird aber die Torfdecke, indem sie immer tiefer einsinkt, so mächtig, daß der Boden zum Stehen kommt. Hiernach kann man unterscheiden Schwingmoore und Standmoore. Die Oberfläche beider ist im ganzen zwar meist naß, aber offenes Wasser tritt nur untergeordnet auf. — Noch eine dritte Moorform ist zu unterscheiden: Das Sumpfmoor.

Wo nämlich Wasserflächen vorhanden sind, seien es dauernde oder solche, die durch regelmäßige Überschwemmung zustande kommen, deren Tiefe so gering ist, daß Sumpfpflanzen auf der ganzen Fläche von vornherein im Untergrunde zu wurzeln vermögen, und wenn dabei die Bedingung für eine Torfbildung, d. h. die nötige Ruhe vorhanden ist: dann haben wir es mit Sumpfmoores zu tun. Ihr Merkmal ist demnach das Vorhandensein von offenem Wasser zwischen den Sumpf- und Moorpflanzen. Die Schwing-, Stand- und Sumpfmoores können bewaldet sein.

Unsere einheimischen Sumpfflachmoorwälder sind gewöhnlich Erlen-sumpfmoores. Im atlantischen Nordamerika haben wir es u. a. mit Sumpf-Cypressenwäldern in Begleitung einer mannigfaltigen Flora zu tun. In den Tropen aber, aus denen freilich unsere Kenntnisse noch sehr spärlich sind, handelt es sich um Sumpfmoores aus Mischwäldern der verschiedensten Pflanzenarten. Es liegt nahe, daß diese studiert werden müssen, um ein Verständnis für unsere wichtigsten fossilen Moore und ihre Flora zu gewinnen. Denn in der Tat: Schon bei geringer Kenntnis von den Steinkohlenpflanzen wird man von vornherein vermuten, daß die Steinkohlen-, aber auch die Braunkohlenlager und die

Humus-Kohlenvorkommen auch der anderen geologischen Formationen nur fossile Flachmoore sein können. Es kommt hinzu, daß das, was wir von den Pflanzen des Karbons wissen, für ihre Tropennatur spricht. Da nun aber unter tropischem Klima bis vor kurzem noch keine Moore bekannt waren, so bestand ein Widerspruch, der nunmehr — wie wir weiter hinten sehen werden — seine Lösung gefunden hat. Daß die fossilen Kohlen je nach ihren Eigenschaften dem Torf und dem Faulschlamm entsprechen, ist schon durch die bloße mikroskopische Untersuchung leicht erweisbar, wie bereits vorn p. 26 angedeutet und weiterhin noch eingehender zu zeigen ist.

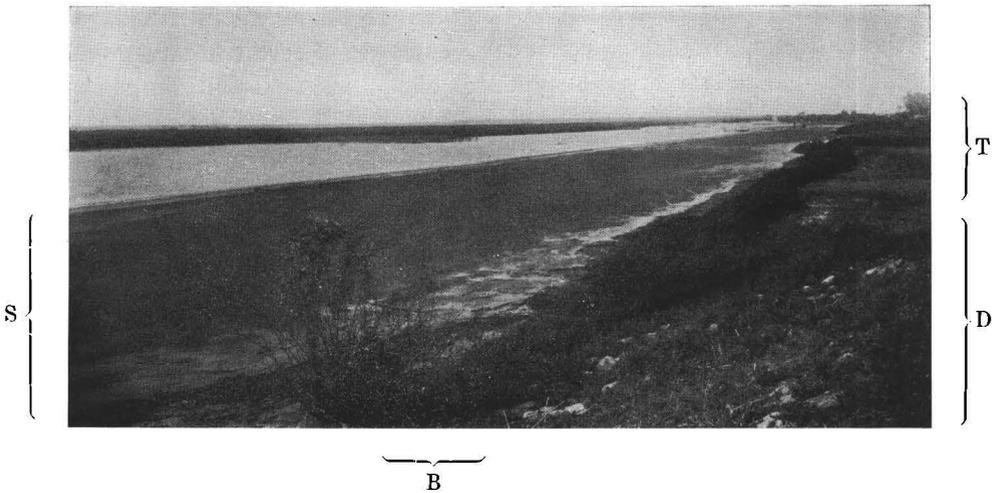


Fig. 12. Sapropelit-Bank (S) bei Juwendt am Ostufer des Kurischen Haffs. Unbegehbar. An der Grenze der Bank nach dem Lande zu ein Bestand von *Bidens cernuus* (B), hier als erster torfbildender Verlander auftretend. Bei T ist die Verlandung durch Vertorfung so weit gediehen, daß dort die Fläche begehbar ist. D ist ein Stückchen des Deiches.

Sehen wir uns nun insbesondere unsere heutigen einheimischen Moore etwas näher an, weil wir von diesen am meisten wissen.

Ein schönes Moorgebiet, das freilich, soweit es Sumpflachmoorwald ist, unter Forstkultur steht, befindet sich in Ostpreußen im Memel- und Nemonien-Strom-Delta. Es ist auf einem Boden entstanden, der durch Sedimentierung besonders von Feinsand gemischt mit Faulschlamm vom Kurischen Haff hervorgegangen ist und der an der dortigen Küste auch heute noch weiter in derselben Weise zunimmt, wenigstens dort, wo die Küste relativ ruhigere Stellen besitzt (Fig. 12), indem das Sapropel bezw. die Sapropel-Urmaterialien und die Wassertrübe zufolge der namentlich vom Winde erzeugten Wasserbewegung ruhigere Stellen, Buchten u. dergl., aufsuchen. Das ist bei flachen, größeren Gewässern natürlich eine allgemeine Erscheinung. Dieses Neuland in Verbindung mit dem dortigen

Klima ist ein günstiger Boden für Torfbildung. Der Torf höht sich allmählich an und wird demgemäß nach Maßgabe der Entfernung von der Küste immer mächtiger.

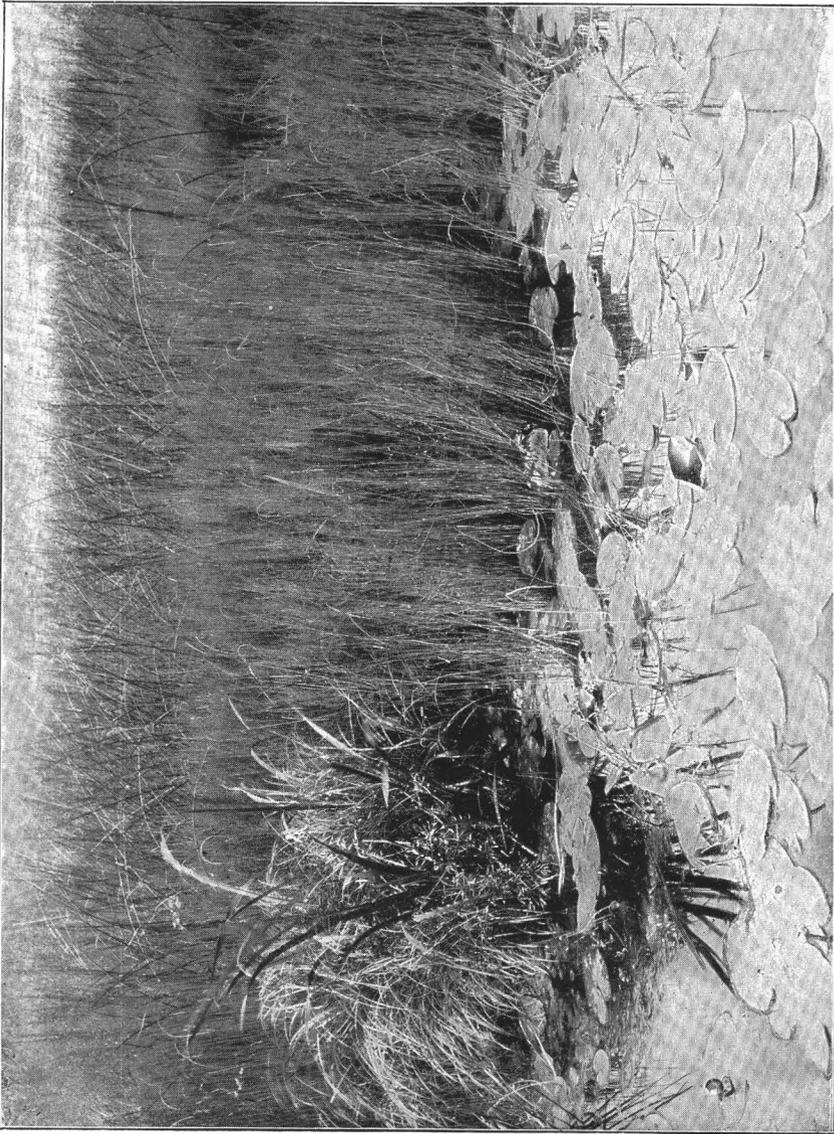


Fig. 13. Verlandung durch höher organisierte Wasserpflanzen (*Nymphaeaceen*) und Röhricht. (Nach einer Photographie der Moorkultur-Versuchsstation in Jönköping, Schweden).

Treten wir von der Küste aus nach Osten eine Wanderung an, so durchschreiten wir nach und nach von der Sapropelsandbildung an die Hauptmoortypen, die ich genannt habe. Denn mit der Anhöhung des Bodens durch Torfbildung in dem Sumpfflachmoorwald tritt die Oberfläche immer mehr aus dem Bereich des Grundwasserspiegels heraus, so daß

wir vom (Sumpf-)Flachmoor nach Durchschreitung einer Zwischenmoorzone in ein großes Hochmoor gelangen.

Zunächst wird der Sapropelsand an der Küste mit einer Gemeinschaft von Pflanzen besetzt, die als Verlander bezeichnet werden, denn es treten hier im ganzen dieselben Arten auf, welche ruhigere Binnenlandgewässer als erste Vorposten zur Verlandung bringen (Fig. 13): Nicht nur werden Wasserstellen unmittelbar hinter der Küste mit höheren Wasserpflanzen besetzt, sondern auch der Röhricht-Pflanzenverein mit dem Schilfrohr (*Arundo phragmites*) bildet an ruhigen Stellen eine



Fig. 14. Erlensumpfmoor bei Cranz bei Königsberg in Preußen.

die Küste begleitende Vegetationszone, und hinter dieser Zone landeinwärts entwickelt sich an denjenigen Stellen ein Wiesenflachmoorstreifen aus Seggen (in erster Linie *Carex gracilis*), wo bewegtere Überschwemmungswässer und Eisbewegung das Aufkommen von Gehölzen verhindern. Wo das aber nicht der Fall ist, da findet schnell Bewaldung statt und zwar in unserem Delta mit der an ähnlichen Örtlichkeiten bei uns überall vorhandenen Schwarzerle (*Alnus glutinosa*).

Dieses Erlen-Sumpfmoor (Fig. 14) kann mehrere Kilometer breit sein. Der Boden wird von Sumpfpflanzen eingenommen: dem Schilfgras, *Glyceria fluitans*, der Sumpfschwertlilie (*Iris pseudacorus*), von *Sium*

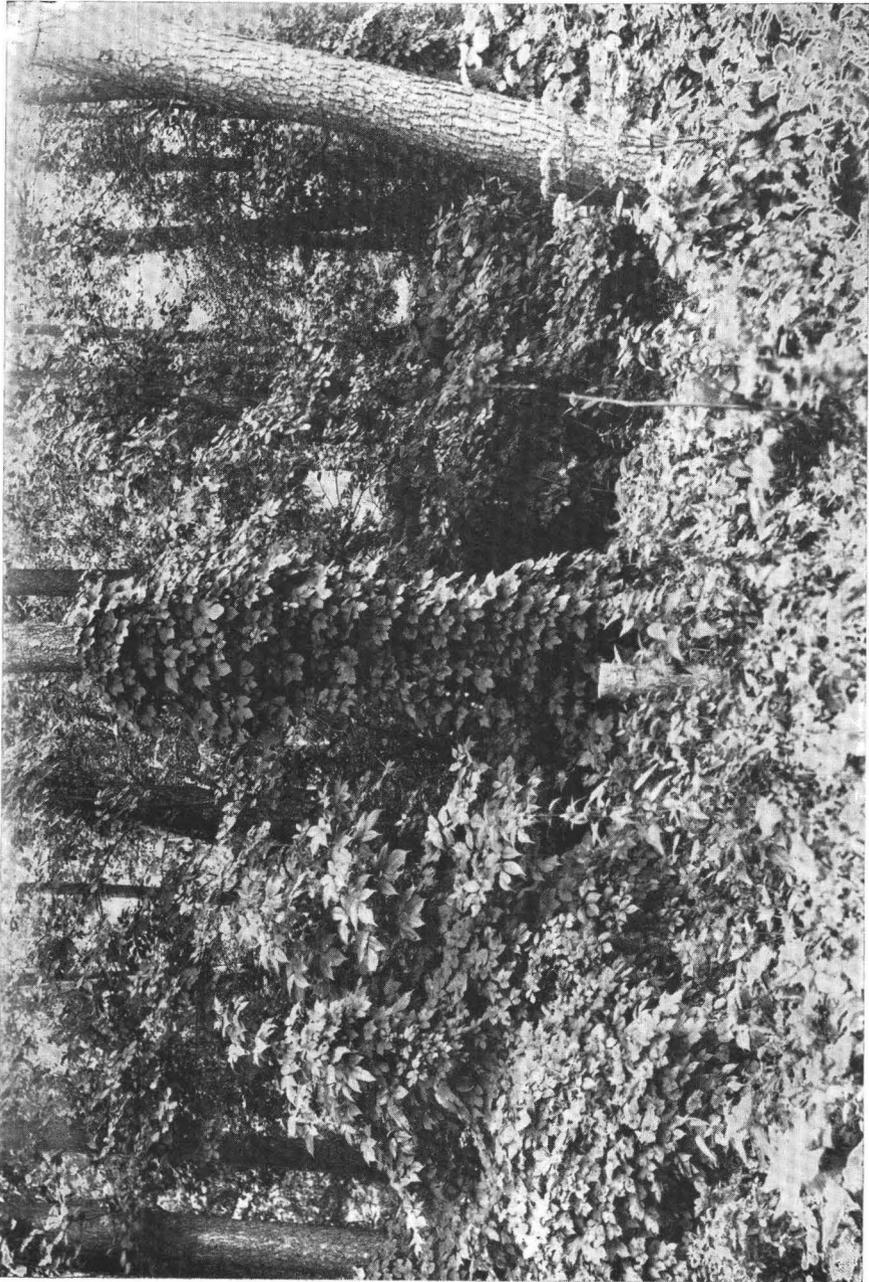


Fig. 15. Erlen-Standmoor in Gr.-Lichterfelde (durch den Bau des Teltowkanals vernichtet). *Alnus glutinosa*, der mittlere Stamm mit *Humulus lupulus*, links *Cornus sanguinea*, links *Sambucus nigra*, im Vordergrunde *Urtica dioeca*.

latifolium, von der Wasserfeder (*Hottonia palustris*) usw. — alles Pflanzen, die die regelmäßigen Überschwemmungen dieser Zone gut vertragen. Und wenn wir uns hier in einem Gebiete allmählicher, stetiger Land-senkung befänden, in der Weise, daß die Torfanhäufung durch die Senkung ausgeglichen würde, dann könnte dieser Zustand eine gewaltig große Zeitdauer währen. Aber in unserem Falle tritt mit dem dauernd aus den absterbenden Pflanzenteilen erzeugten Torf das Gelände mehr und mehr aus dem höchsten Grundwasserstand heraus; die Sumpfpflanzen, die mit ihrem Fuß im Wasser zu leben wünschen, werden daher allmählich verdrängt und machen einer anderen Untergrundflora Platz, die einen etwas trockneren Boden bevorzugt. So gelangen wir denn weiter nach Osten vordringend zuerst in eine freilich hier oft nur angedeutete Erlen-Standmoorzzone. Zu ihrer charakteristischen Bodenflora (Fig. 15) gehört u. a. die große Brennessel (*Urtica dioeca*) und Kletterpflanzen sind besonders gern vorhanden, wie u. a. der Hopfen (*Humulus lupulus*).

Bis hierher haben wir es mit Flachmoor (Niedermoor) zu tun.

Schnell beginnen sich Moorbirken (*Betula pubescens*) einzumischen und die Erlen treten immer mehr zurück und verschwinden schließlich. Wir stehen dann in einer Birkenzone, die nun schon zum Zwischenmoor (Übergangsmoor) zu rechnen ist. Allmählich nehmen aber auch die Moorbirken ab und wir gelangen in eine Mischwald-, besonders Nadelwaldzone, vorwiegend aus Kiefer (*Pinus silvestris*) und Fichte (*Picea excelsa*) (Fig. 16).

In diesem ganzen Zwischenmoor hat sich der Torf soweit angehört, daß der Boden nunmehr trocken ist, wie in unseren sonstigen Mischwäldern, und dementsprechend ist denn auch hier die Waldflora vertreten, aus der Orchideen entgegenleuchten, wie in unserm Fall besonders die schöne *Orchis helodes* (*O. maculatus helodes*). Ericaceen werden immer zahlreicher, unter anderem in erster Linie der Sumpforst (*Ledum palustre*) in herrlichen großen Sträuchern, dann im ganzen Mischwald-Zwischenmoor bei Nemonien die hier ihre Südgrenze findende *Andromeda calyculata*, aber die Bäume werden immer kleiner und weisen dadurch augenfällig auf die durch die fortschreitende Torfanhöhung immer kärglicher zur Verfügung stehende Nahrung im Boden hin, dessen Durchlüftungsfähigkeit überdies bei der Dichte des Torfes abnimmt. Auch ausnahmsweise hohe Grundwasserstände vermögen dann keinen Einfluß mehr auf das Wachstum der Pflanzen auszuüben und ihnen in diesem Wasser gelöste Nahrung zuzuführen. Schließlich sind nur noch Regenwasser und Tau zugänglich und nur noch der hineingetragene Staub bringt von außen neue, spärliche Nahrung hinein. Immer mehr und mehr nehmen deshalb Pflanzen den Platz ein, die sehr bedürfnislos sind und unter diesen ist es besonders eine Gattung, das Torfmoos (*Sphagnum*), das nun berufen ist, die Führung in der Weiterentwicklung des Moores zu übernehmen. Die



Fig. 16. Zwischenmoor mit *Andromeda calyculata* (rechts und im Mittelgrunde) und *Ledum palustre* (u. a. links). Baumbestand wesentlich *Pinus silvestris*, vorn in der Mitte eine kleine *Picea excelsa*. — Försterei Laukwargen östlich Nemonien (Memel-Delta).

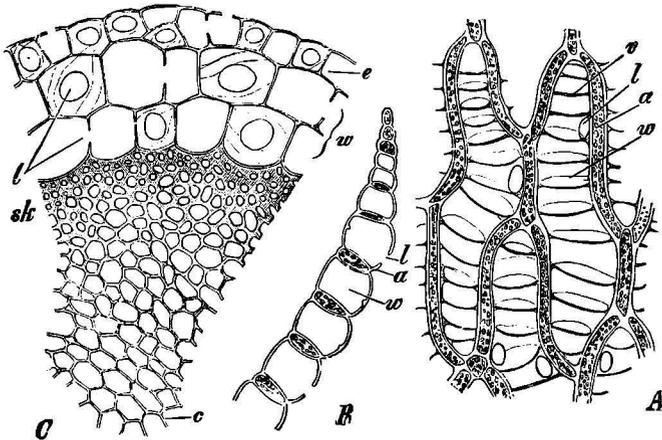


Fig. 17. *Sphagnum*. A Einige Zellen aus der Flächenansicht des Blattes von *S. cymbifolium*. B Querschnitt durch das Blatt von *S. fimbriatum*. C Teil des Stengelquerschnittes von *S. cymb.* — a = Assimilationszellen (Chlorophyll führend), w = Wasserzellen mit ringförmigen Verdickungsleisten v und Löchern l zum Ein- und Austritt des Wassers. sk = Skelettzellen, c = Zentrum des Stengels, e = Außenhaut des Stengels, ebenfalls aus Wasserzellen bestehend. (Wesentlich nach SCHIMPER.)

Arten dieser merkwürdigen Moosgattung sind zum größten Teil (sofern sie nämlich nicht unter Wasser selbst leben), man kann sagen, an der Luft lebende Wasserpflanzen. Denn durch ihren Bau (Fig. 17) vermögen diese Landtorfmoose das Regen- und Tauwasser in ihrem Körper in großer Menge zu speichern, etwa so, wie ein Badeschwamm. Sie sind dadurch befähigt, einen trockenen Boden zu vernässen, und so gelangen wir denn auch, immer weiter nach Osten vordringend, wieder in ein nasses Gelände, obwohl dessen Oberfläche den höchsten Haffwasserstand um mehrere Meter überschritten hat. Der Torf, der nunmehr wesentlich von *Sphagnum*, dem Torfmoos, erzeugt wird, entfernt die Mooroberfläche immer weiter aus der Horizontalen dieses Wasserspiegels; wir haben ein Moorgelände vor uns, das sich mehrere Meter über diesen Spiegel erhebt und das uhrglasförmig aufliegt: daher der Name Hochmoor.

In Gemeinschaft mit dem Torfmoos leben besonders Pflanzenarten, die wir vom hohen Norden oder aus dem Hochgebirge her kennen, und im Hochmoor sind die Insekten-verdauenden Pflanzen so recht zuhause; denn da die Hochmoorpflanzen außer der aus der Luft ihnen zugewendeten Nahrung, d. h. dem Kohlendioxyd, dem Staub, Regen und Tauwasser, nur mit der geringen, im letzten Ende ebenfalls aus der Atmosphäre herstammenden Bodennahrung auskommen müssen, so reicht das nicht aus, um üppig und schnell aufwachsende Pflanzengestaltungen hervorzubringen, wie wir sie im Flachmoor strotzend sich entwickeln sehen. Die Pflanzen sind unter solchen Umständen besonders bemüht, alles in ihren Bereich Kommende auszunutzen und Anpassungen zu entwickeln, die es ihnen sogar ermöglichen, die auf den Hochmooren lebenden oder hinaufgehenden Insekten zu fangen und als Nahrung zu verwenden. Unter solchen Pflanzen spielen in der nördlichen gemäßigten Zone der ganzen Erde die Sonnentaupflanzen, die *Drosera*-Arten, eine besondere Rolle. Sehr auffällig und sehr verbreitet auf Hochmoorgeländen der gemäßigten Zone des östlichen Nord-Amerika ist die Kannenpflanze, *Sarracenia purpurea*, mit krugförmigen Blättern, die in ihrer Höhlung eine sehr schwach saure Flüssigkeit, in jedem Krug etwa soviel wie in einem kleinen Weinglase, enthalten. In dieser Flüssigkeit findet man oft zahlreiche Insekten ertrunken, denn die Krüge sind treffliche Fallen. Abgesehen von der Fähigkeit, die gelösten Weichteile der Tiere durch die Wände der Kannen aufnehmen zu können, muß unzweifelhaft für die Pflanze ein gewisser Vorteil auch darin gefunden werden, daß sie bei dem Zerfall der alten Krüge, in welchen sich die Insektenreste befinden, die von diesen gebotene Stickstoffnahrung vermöge der Wurzeln zu benutzen imstande sind, so daß dann das Fangen der Tiere die Erzeugung von Dung zur Folge hat. Die beiden genannten Pflanzen besitzen wie alle typischen Moorpflanzen den Etagenbau, d. h. sie sind imstande nach Maßgabe der Bodenanhöhung mitzuwachsen.

Auch sonst besitzt die Hochmoorflora ein eigenartiges Gepräge, das bei uns und sonst ganz wesentlich von demjenigen der Pflanzenvereine außerhalb der Hochmoore abweicht. Denn trotzdem wir uns in dem mittelwarmen Teil der gemäßigten Zone befinden, sind doch auf unseren Hochmooren vorwiegend subarktische Pflanzenarten vorhanden, die in ihrer Tracht höchst auffällig von den Pflanzen nahrungsreicherer Gelände abweichen. Es hängt dies damit zusammen, daß im höheren Norden die Pflanzen bei der Kälte des Bodens nicht den ausgiebigen Nutzen von der Bodennahrung ziehen können wie in wärmeren Regionen. Da aber auf den Hochmooren der mittleren und auch südlicheren gemäßigten Zone die Konkurrenz mit anspruchsvolleren Pflanzen fehlt, begegnen wir hier den bedürfnisloseren Pflanzen des hohen Nordens. Besonders die selteneren unter ihnen muten uns wohl wie Fremdlinge bei uns an, während doch gerade die Hochmoorpflanzen von den jetzt bei uns lebenden diejenigen sind, die am längsten in Nord-Deutschland wohnen; denn sie sind lebende Zeugen einer längst verschwundenen Zeit und zwar der Zeit, die unmittelbar auf die letzte Eisbedeckung folgte, als Nord-Deutschland noch Subglazialgebiet war, das mit dem Rückzuge des Eises natürlich mit nach Norden gerückt ist. So stellen denn unsere Hochmoorpflanzen gleichsam ein Stück Vorwelt dar unter den Pflanzen der Gegenwart, und es kommt die bemerkenswerte Tatsache zustande, daß eine Wanderung bei uns aus einem Flachmoorgebiet durch Zwischenmoor bis ins Hochmoor hinsichtlich der Reihenfolge des Auftretens der Pflanzenvereine gewissermaßen einer Reise aus der warmen Zone bis über die nördliche Baumgrenze hinaus gleichkommt, oder daß wir uns in ein Hochgebirge versetzt glauben mit seinen Höhenzonen, denen verschiedene Pflanzengemeinschaften eigen sind, die in ihrer Aufeinanderfolge von unten nach aufwärts in gewissem Sinne den Pflanzengemeinschaften entsprechen, wie wir sie hintereinander, in horizontaler Ausbreitung in dem von uns begangenen Moorgebiet antreffen.

Und wie unsere Hochmoorflora eine hochnordische ist, so lenken unsere Flachmoorpflanzen unseren Blick nach der entgegengesetzten Richtung: nach den Tropen. Denn hier sind Eigentümlichkeiten unserer Flachmoorpflanzen in typischster Ausbildung zu finden. Man gewinnt daher den Eindruck: Der Sumpfflachmoorwald sei in erster Linie in den Tropen zuhause. Während demnach zu einem vollen Verständnis unserer Hochmoorflora nur durch das Studium der nördlichsten und nördlichen Pflanzen zu gelangen ist, wird man eine Einsicht in die Eigenart unserer Flachmoorpflanzen am besten durch die Kenntnis der tropischen Flachmoor-Vegetation erreichen. Bei uns haben wir z. B. eigentlich nur einen einzigen und nicht einmal voll dem Moorleben angepaßten Baum: *Alnus glutinosa*, die Schwarzerle; je weiter wir uns aber den Tropen nähern durch die *Taxodium*- und *Nyssa*-Sumpfmoores des mittleren Nordamerika

bis zu den rein tropischen Flachmoorsümpfen, z. B. am Äquator auf Sumatra, so werden aus den bloßen Andeutungen volle Anpassungen; denn die tropische Moorflora mit ihren vielen Baumarten scheint den besonderen Anforderungen, die das Leben im Moor stellt, vollkommen gerecht zu werden. (Ausführliches darüber weiter hinten.)

Doch wir befanden uns noch nicht auf der vollen Höhe unseres Hochmoores im Memeldelta. Bei jedem Schritt sinkt der Fuß in die *Sphagnum*-Decke tief ein. Bald sind wir auf der unübersehbaren Hochmoorfläche. Das Bewußtsein, hier auf einem noch unberührten Boden zu stehen, steigert den Reiz und regt die Sinne des Naturforschers ganz besonders an. Wir gelangen schließlich an einige offene Wasserstellen (Fig. 18), denn auf den zentralen Teilen von Hochmooren kann sich in



Fig. 18. Hochmoor-Teiche, durch *Sphagnum* verlandend. Im nördlichen Teile des großen Moosbruches im Memel-Delta.

regenreichen Gebieten das atmosphärische Wasser in Teichen oder Seen ansammeln, die das ähnlich dem Meer eintönige Landschaftsbild unterbrechen. Wie von einem gewaltigen Dach fließen überdies von einem großen Hochmoor die überschüssigen Regenwässer herab und vernässen seine Umgebung. Bei reichlich vorhandenem Wasser sammelt es sich in Bächen, die ständig und regelmäßig herabfließen können (Fig. 19). Namentlich an diesen Bächen, Rüllen genannt, haben die Pflanzen naturgemäß, weil das Wasser schneller wechselt, eine etwas größere Gelegenheit, Nahrung aufzunehmen; sie genügt, um einigen anspruchsvolleren Pflanzen das Leben zu gewähren, die bei einer Begehung des Hochmoores den Verlauf einer Rülle schon von weitem anzeigen, nicht nur durch die größeren Pflanzen — sogar größere Bäume können die Rülle begleiten — sondern auch durch ihr sattes Grün im Gegensatz zu der fahlen Färbung der übrigen Hochmoorfläche. Hierbei ist freilich auch die infolge des bewegteren Wassers bessere Durchlüftung des



Fig. 19. Rülle mit *Arundo phragmites*, im nördlichen Teil des großen Moosbruches (Memel-Delta). (Quer zur Rülle verläuft vorn [auf dem Bilde unsichtbar] ein künstlicher Entwässerungsgraben, in den das Rüllenwasser, wie auf dem Bilde zu sehen, abstürzt.)



Fig. 20. *Arundo phragmites*-Zone am Rande des Hochmoors. Bäume, besonders *Pinus silvestris*, kleiner als im Zwischenmoor (Fig. 16).

Bodens in Rücksicht zu ziehen, die es sogar dem Schilfrohr, *Arundo phragmites*, gestattet, hier wieder aufzutreten, und Röhrichtbestände — wenn auch weniger üppig als in Flachmoorgebieten — ziehen sich daher unter Umständen die Rülle entlang bis an den Rand des Hochmoores, wo wir dann den Röhrichtbestand im Einflußbereich der Rülle sich rechts und links ausbreiten sehen (Fig. 20).

Besonders unterschiedlich ist durch ihre Üppigkeit natürlich die Flora derjenigen Rüllen, die Quellwasser des anorganisch-mineralischen Untergrundes führen. Hier treten dann mitten im Hochmoor, auf beiden Seiten eingeschlossen von einer borealalpinen Pflanzengemeinschaft, üppige Flachmoorpflanzen auf, als weiteres schlagendes Beispiel dafür, welche trefflichen Reagentien die Pflanzenarten auf die Bodenbeschaffenheit, wie feinfühlig sie für ihre Umgebungsbedingungen sind.

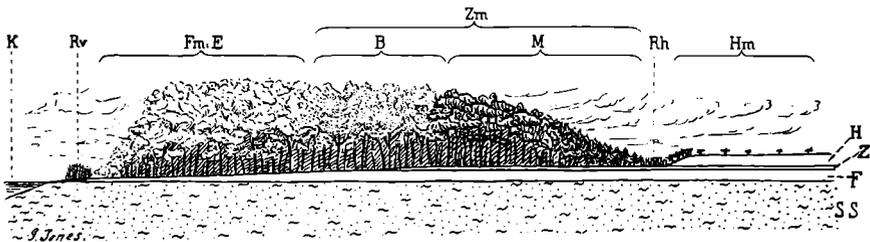


Fig. 21. Schematisches Profil durch eine Strecke vom Kurischen Haff (K), durch die Röhricht-Verlandungszone (Rv) des Ufers, das Erlen-Sumpfflachmoor (Fm : E), Zwischenmoor (Zm) in eine Birkenzone (B) und Mischwaldzone (M) zerfallend, durch die Röhricht-Hochmoor-Vorzone (Rh) bis zum Hochmoor (Hm). Im Bodenprofil bedeuten SS sapropelhaltiger Haffsand, F Flachmoortorf, Z Zwischenmoortorf und H Hochmoortorf.

Unsere Fig. 21 soll unsere Wanderung durch das Memeldelta-Moor übersichtlich rekapitulieren; man vergl. hierzu die Erklärung in der Unterschrift.

Bei der Abhängigkeit der Hochmoore vom atmosphärischen Wasser nimmt es kein Wunder, daß sie sich unterscheiden, je nachdem mehr oder minder davon zur Verfügung steht. Ein gewisses Maß von atmosphärischem Wasser ist für die Entstehung und Weiterentwicklung eines Hochmoores unerlässlich; aber sogar das Landklima der gemäßigten Zonen reicht aus, um eine Hochmoorbildung zu ermöglichen, wenn freilich auch ein Seeklima hierfür günstiger ist. Das ist bei dem Vergleich der Landklima- und Seeklima-Hochmoore sofort zu sehen. Ein Blick auf ein lebendes Seeklima-Hochmoor zeigt uns einen Moosteppich von *Sphagnum* mehr oder minder dicht mit dem Gehältn von *Cyperaceen* und zerstreut besonders mit Krüppelkiefern bestanden.

Bei einem typischen Landklima-Hochmoor hingegen tritt der *Sphagnum*-Teppich für das Auge wesentlich zurück; er befindet sich im Schutze von Sträuchern, die die Oberfläche oft dicht bekleiden, und zwar

nehmen hier Sträucher aus der Familie der *Ericaceen*, der Heidepflanzen, einen hervorragenden Platz ein, sowie Arten, die diesen in ihrer Tracht ähnlich sehen. Neben *Sphagnum* spielt hier noch ein anderes Moos eine zuweilen selbst herrschende Rolle: das Widertonmoos, *Polytrichum*. Der Baumbestand ist meist dichter, wengleich auch hier die Bäume nicht ihre volle Größe erreichen und unter ihnen wie im Seeklima-Hochmoor verkrüppelte Exemplare häufig sind. Wenn wir die HELLMANNsche Regenkarte von Deutschland betrachten, so fällt die Verbreitung der Seeklima-Hochmoore etwa mit den Gebieten zusammen, für welche 60 und mehr cm mittlere jährliche Niederschlagshöhe angegeben wird, das sind die auf der Karte blau angelegten Gebiete, während die Landklima-Hochmoor-Gebiete nur 40—60 cm Niederschlagshöhe aufweisen; auf der genannten Karte braun angelegt.

Im südlichen Canada von Ost nach West, von dem einen bis zum anderen Ozean, habe ich fast nur Landklima-Hochmoore gesehen, die daher gegenwärtig eine größere Verbreitung besitzen, als die Seeklima-Hochmoore. Unser Hochmoor östlich von Nemonien, das wir näher kennen lernten, ist ein Seeklima-Hochmoor.

In der geschilderten Reihenfolge kann die Entwicklung vor sich gehen, aber — wohlgemerkt (vergl. vorn p. 30) — ein Hochmoor vermag auch nach vorausgehender Trockentorfbildung z. B. auf Sand- oder Felsboden zu entstehen, wenn er nur bei hinreichender Luftfeuchtigkeit unfruchtbar (etwa ausgelaugt oder schwer zersetzbar) ist. Bei der Entstehung von Hochmooren kommt es auf das Vorhandensein einer „Isolierschicht“ an, zwischen dem hinreichend mineralische Nahrung hergebenden Boden und dem Hochmoor: sei diese Isolierschicht nun ein Flachmoortorf, ein ausgelaugter Sand oder dergleichen. Vernäbte, nahrungsschwache Stellen oder nahrungsschwache Seen gehen, wenn sonst die Bedingungen zur Moorbildung vorhanden sind, ebenfalls sogleich in Hochmoor über.

Wir haben übersichtlich im Memeldelta in unserem Moorgelände die folgenden Sumpf- und Moorgeländetypen kennen gelernt.

| | | |
|--------------|---|---|
| Hochmoor | { | Seeklima-Hochmoor, Hochmoor-Vorzone zum Teil mit <i>Arundo phragmites</i> , |
| Zwischenmoor | { | Nadelmischwaldzone mit <i>Ericaceen</i> , Birkenzone, |
| Flachmoor | { | (Erlen-Standmoor), Erlen-Sumpfmoor, gelegentlich Sumpfmoorwiesen, Röhricht-Verlandungszone, |
| Sumpf | | aus Sapropelsand. |

Ich habe dieser Übersicht die Form eines Profils gegeben, wie die den genannten Sumpf- und Moortypen entsprechenden Sapropelit- bzw. Torfarten übereinander in unserem Revier auftreten können, wobei

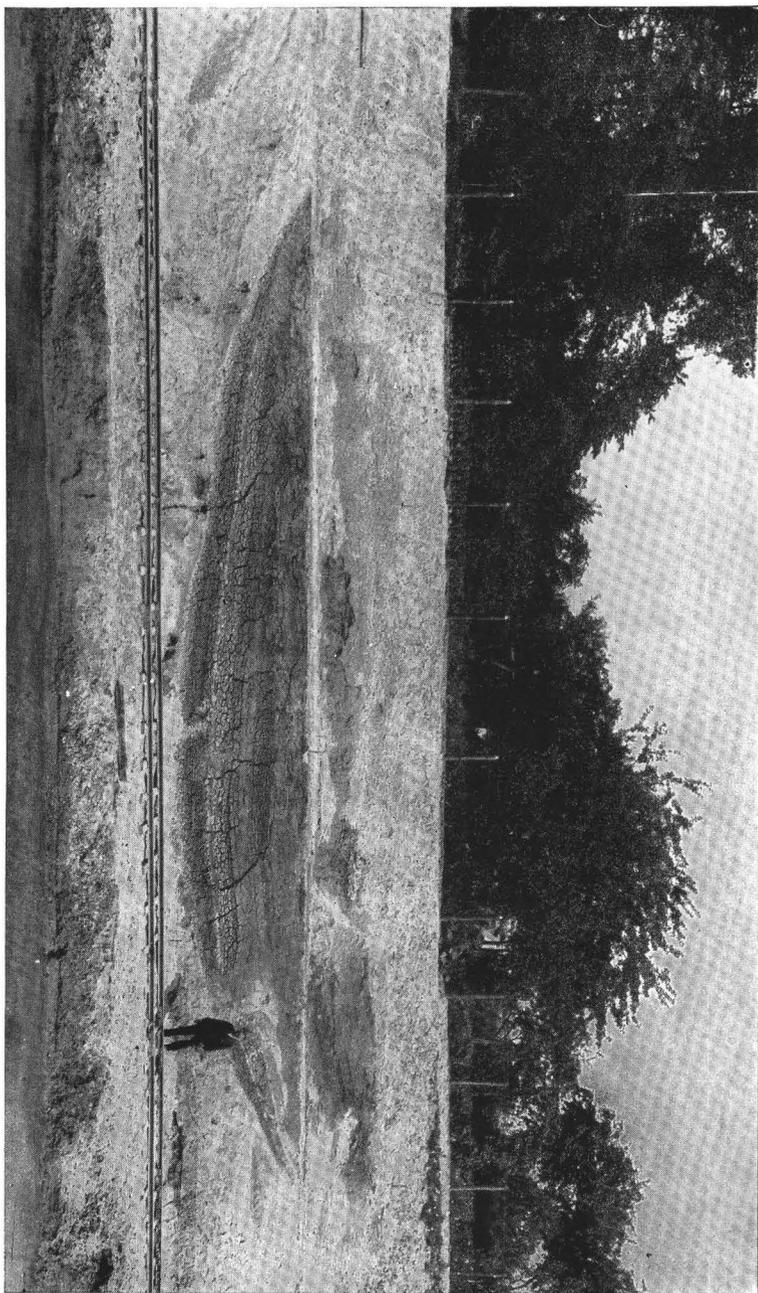


Fig. 22. Profil durch ein kleines ehemaliges Wasserbecken, verlandet durch vollständige Ausfüllung mit Sapropelit, darüber Torf, das Ganze bedeckt mit Sand. — Aufgeschlossen gewesen beim Bau des Teltowkanals in Steglitz bei Berlin.

freilich, infolge des oft schnellen Überganges des letzten Flachmoorstadiums in Hochmoor, die Zwischenmoortorfe dann kaum oder nur schwer zu erkennen sind.

Die angegebene Entwicklungsfolge ist ganz, oder mehr oder minder angenähert, in vielen Profilen von Mooren zu beobachten, besonders instruktiv, wenn es sich, wie in Fig. 22, um die Aufdeckung eines ganz kleinen vollständig übersehbaren Wasserbeckens handelt.

Liptobiolithe

Wo Landpflanzenreste sich zersetzen, die stark harz- oder wachsharz- oder wachshaltig sind oder ähnliche Stoffe reichlich enthalten, da werden die genannten Produkte, da sie die am schwersten verweslichen sind, sich schließlich so anreichern können, daß sie fast allein zurückbleiben. Als Beispiel sei auf eine Pflanzengattung Südafrikas hingewiesen, die mit den Pelargonien verwandt ist: auf die Gattung *Sarcocaulon*. Sie lebt in äußerst trockenen Gebieten und besitzt zum Schutz gegen austrocknende Winde einen sehr starken Panzer aus Wachsharz. Die Pflanzen brennen daher wie Pech und Siegellack und werden u. a. Buschmannskerzen genannt. Ihren Panzer, Fig. 23, findet man häufig auf großen Strecken zahlreich herumliegend vor, während die gesamte übrige Pflanzensubstanz infolge von Verwesung vollständig verschwunden ist. Wo solches Panzermaterial oder die panzertragenden Pflanzenteile durch Wind und Wasser zusammengebracht wird, liegt eine Ablagerung von Liptobiolith vor. Eine solche rezente größere Ablagerung, von der freilich die Pflanzen, die hier das Material geliefert haben, nicht bekannt sind, findet sich am Tanafluß in Britisch-Ostafrika. Der hier abgelagerte Liptobiolith heißt Denhardtit (POTONIE 1905).

Die „Pflanzenbarren“, losgerissene schwimmende Vegetationsinseln, die besonders schön aus dem Nilgebiet als „sedds“ und aus dem Mississippi als „rafts“ bekannt sind, veranschaulichen, wie man sich den Transport denken könnte. Freilich sind aus diesem Gebiet — wenigstens bis jetzt — keine Liptobiolithlager bekannt. Wenn die Inseln und gedrifteten Pflanzenmassen an ruhigere Stellen zusammengeschwemmt werden und der Verwesung anheimfallen, werden die liptobiolithischen Substanzen als Lager oder vereinzelt in dem anorganisch-mineralischen Sediment zurückbleiben können.

Ferner ist von Kaustobiolithen, die freilich nur in vereinzelten Stücken auftreten, zu nennen der „Fichtelit“, das ist subfossiles Harz von Nadelhölzern in Mooren, und zwar zuerst von BROMEIS im Fichtelgebirge gefunden, ferner der Kopal usw. Die Kopale sind subfossile Harze tropischer Bäume (besonders von *Trachylobium*, auch *Copaifera* und *Cynometra*). Sie finden sich in lockerem Boden, in den sie durch Bedeckung vermittels des Windes oder durch grabende Tiere oder durch

Bedeckung mit Humus geraten sind. Meist ist bei diesen subfossilen Kopalen von den Herkunftspflanzen sonst nichts mehr zu finden.

Besonders eigenartig sind rezente Liptobiolithe, die aus Sporen und Blütenstaub (Pollen) gebildet werden. Wo diese in so großen Ansammlungen vorkommen, daß sie Kaustobiolithe erzeugen, ergeben sie keinen Torf, sondern einen Liptobiolith, denn die Kohlenhydrate treten in den Sporen und Pollen stark zurück gegenüber den Wachsen, Fetten,



Fig. 23. Wachsharzpanzerstück von *Sarcocaulon Burmanni* in $\frac{1}{1}$.

Proteinen. Die Zellwandung (und zwar Außenwandung, Cuticula, derselben) ist überdies cutinisiert und Cutin wird als ein fettartiger Stoff angegeben. So enthalten nach A. LANGER die *Lycopodium clavatum*-Sporen über 49% Fett. Ferner zeigen einige Erfahrungen, „daß auf Rechnung der Cuticula ein hoher Anteil des Trockensubstanzgewichtes von Pollen fallen kann“ (CZAPEK 1905, p. 579). Unter diesen Umständen ist es begreiflich, wenn ein solches Material, wo es sich anhäuft, auch einen besonders charakteristischen Kaustobiolith gibt.

Eine Vorstellung von der hinreichenden Menge des in Rede stehenden Materials zur Bildung von Kaustobiolith gibt der sog. Schwefelregen, d. h. die nicht seltene Erscheinung eines Regens von Pollen, der bei der schwefelgelben Farbe dieses Staubes zu der genannten Bezeichnung Veranlassung gegeben hat, und als Pollen-Wasserblüte zu bezeichnen ist, wenn der Blütenstaub ins Wasser gerät, zum Unterschiede von der Algen-Wasserblüte (vergl. p. 21).

Es ist besonders der Blütenstaub von Windblütlern, der den „Schwefelregen“ erzeugt. Die *Coniferen* und *Betulaceen* sind im Frühjahr durch Massenproduktion von Pollen ausgezeichnet, daher denn auch die „Schwefelregen“ in Zentraleuropa gerade im Mai vorkommen. Die halbkugeligen Luftsäcke des Nadelholzpollen (s. unsere Fig. 24) erleichtern ganz wesentlich ihre Bewegung durch die Luft.

In fast allen unseren rezenten Sapropeliten finden sich solche Pollenkörner; sie werden vor allem mit anderen untersinkenden Organismen mitgerissen. So fand sich im Grunewald-See bei Berlin im Juni 1904 eine Pollen-Algen-Wasserblüte zusammengesetzt aus *Pinus silvestris*-Pollen und aus Algen, wesentlich *Aphanocapsa pulchra*, aber auch *Pediastrum*, *Scenedesmus* u. a., die im Reagenzglas schließlich untersank und den Kiefernpollen mitnahm. Pollen-Wasserblüte ist außerordentlich häufig und man sollte bei der Kleinheit der Pollenkörner kaum glauben, welche großen Quantitäten davon so ins Wasser geführt werden. Zum Verständnis ist zu beachten, daß die Pollen- und Sporenproduktion vieler Pflanzen (*Erle*, *Haselnuß*, *Birke*, *Fichte*, *Kiefer*, *Lycopodium* usw.) eine ganz immense ist: wird doch sogar von unseren kleinen *Lycopodium*-Arten das Sporenmateriale für den Handel als Bärlapp-Samen (Hexenmehl) gesammelt. GREEN (1878) berichtet von einem großen 1858 stattgehabten Schwefelregen in Schottland (Inverness Shire), verursacht durch die Kiefer. Der Boden, sagt er, war an manchen Stellen $\frac{1}{2}$ Zoll (half an inch), also 1,5 cm hoch mit Pollen bedeckt und die Erscheinung wurde von Örtlichkeiten notiert, die 33 engl. Meilen voneinander lagen. Die ganze Oberfläche der großen Seen in Canada und in anderen Ländern werden, nach dem genannten, nicht selten durch einen dicken Schaum desselben Pollens bedeckt.

Wenn man diese große Produktion von Sporen und Pollen mit der Tatsache zusammenhält, daß sie durch die chemische Beschaffenheit ihrer Membranen der Zersetzung ganz außergewöhnlich zu widerstehen vermögen, so ist es wohl verständlich, daß sich gelegentlich geradezu Pollen- und Sporenlager erhalten finden. BUREAU und POISSON

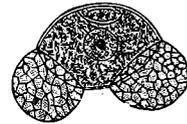


Fig. 24. Pollenkorn von *Pinus silvestris* 400 mal vergrößert. Rechts und links je ein durch Aufwölbung der Außenmembran entstandener Luftsack zur Erhöhung der Flugfähigkeit.

beschreiben (1876) ein solches ockerfarbenes Lager, das DE L'ISLE auf Réunion bemerkt hatte, und zwar in etwa 1 m Mächtigkeit den Boden einer Höhle bildend (es soll dort noch eine zweite Höhle mit Sporenlager vorhanden sein). DE L'ISLE teilt mit, daß die *Lycopodium*-Sporen auf Réunion unter Umständen in solchen Massen in der Luft vorhanden sein können, daß die Atemtätigkeit leidet. B. und P. halten die Sporen des Lagers für solche von Farn und zwar wahrscheinlich von einer *Polypodiacee*. Vermutlich sind die Sporen in den Höhlen von Wasser zusammengeschwemmt worden.

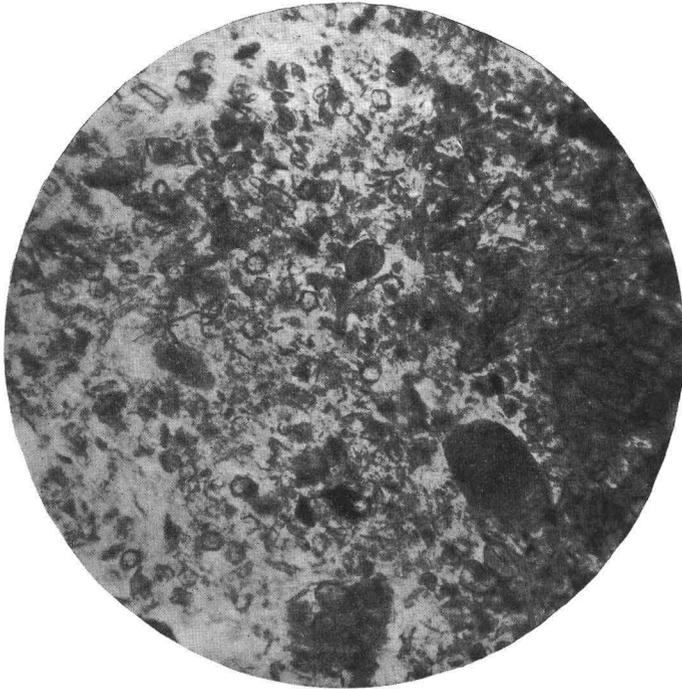


Fig. 25. Mikrophotogramm von Fimmenit von Augustenburg in Oldenburg.

Wichtiger für uns als dieser „Sporit“ ist ein gewisser „lichter Leuchttorf“, dem FRÜH (1885, p. 716) bei seiner Besonderheit auch einen eigenen Namen, nämlich Fimmenit (zu Ehren von FIMMEN) gegeben hat (1885, p. 721). Dieser Kaustobiolith ist wesentlich aus Pollenkörnern und zwar wohl von der Erle zusammengesetzt (Fig. 25); anderes eingedriftetes Material (insbesondere Hautgewebereste (Periderm), Holz-, Zweigstückchen u. dergl.) ist mehr untergeordnet vertreten. Alkohol zieht viel Wachs und Harz aus und der Fimmenit brennt anhaltend und gleichförmig für sich wie eine Kerze. Da ein bewegtes Wasser eine Separation der von ihm transportierten Trübe und Teile überhaupt vornimmt, ist die Zusammenablagerung spezifisch etwa gleich schwerer

Objekte leicht erklärlich. Ein Rinnsal eines Erlenmoores wird zur Blütezeit der Erlen dicht mit Pollen bestreut; nehmen wir an, daß der Wasserlauf an einer ruhigen Stelle münde oder unterwegs ruhige Buchten besitze, so ist die Bildung eines Pollenlagers wohl verständlich. Dabei ist zu beachten, daß — wie man sich leicht bei Versuchen im Aquarium überzeugen kann — der Pollen der Betulaceen (*Alnus*, *Corylus*, *Betula*) sofort schwebend untersinkt, im Gegensatz zu dem Pollen der Windblütler mit Luftsäcken wie dem der Nadelhölzer (*Pinus* und *Picea*). Getrocknet ist der Fimmit so leicht, daß er auf dem Wasser schwimmt.

Fossile Sapropelite

Allgemeines

Im Verlauf der Zeit, namentlich nach seiner Bedeckung, wird das Sapropel festgallertig und in diesem Zustande Saprokoll (Faulgallerte) genannt (von *sapros* und dem Griechischen *kolla* = Leim); reinere Sapropelite, sogar der Tertiärformation (wie z. B. derjenige von Messel bei Darmstadt), können noch einen mehr oder minder zu dem gallertigen hinneigenden Zustand bewahrt haben. Sind aber reinere Sapropelite alt-fossil oder lufttrocken, so sind sie außerordentlich hart, dabei ist aber das spezifische Gewicht — sofern es nicht durch höheren Gehalt namentlich an sekundärer Asche wesentlich erhöht wird — bemerkenswert geringer als das von Humus-Kaustobiolithen. Man ist oft überrascht über die Leichtigkeit von Sapropeliten, schon wenn man sie nur in die Hand nimmt. Der Ausdruck bituminöse Gesteine, der ganz besonders auf Sapropelite Anwendung findet, ist doch nicht mit letzteren identisch, denn nach dem Sinn von „bituminös“ (vergl. p. 17) sind dies hervorragend auch die Liptobiolithe. Spricht man von bituminösen Gesteinen, so bleibt ferner der Zweifel offen, ob Gesteine gemeint sind, denen die Bitumina-liefernden Materialien resp. die bereits gebildeten Bitumina ab ovo zugehören, oder ob sie sich in dem Gestein an zweiter Lagerstätte befinden, wie vielfach das Petroleum. Hier soll daher nur dann von bituminösen Gesteinen die Rede sein, wenn über die erwähnte Herkunft (ob an erster oder zweiter Lagerstätte) nichts ausgesagt werden soll, ebensowenig wie über ihre Sapropel- oder Liptobiolith-Natur, während von Faulschlamm- oder Sapropel-Gesteinen (Sapropeliten) nur dann zu sprechen ist, wenn die der Bituminierung verfallenen Stoffe von Sapropel-Natur an erster Lagerstätte vorhanden sind.

Die nicht kaustobiolithischen Beimengungen heißen in der Technik bekanntlich zusammengenommen Asche. Genetisch besteht diese aber oder kann bestehen

1. aus der von den Organismen herstammenden, das ist die primäre Asche,
2. aus anorganisch-mineralischer Substanz, das ist die sekundäre Asche, die hinzukommen kann
 - a) durch Sedimentierung herbeigeführter Wassertrübe,
 - b) durch Niederschlag aus dem Wasser, das anorganisch-mineralische Substanz in Lösung enthält. Sich zersetzende organische Substanz kann solchen Niederschlag wesentlich begünstigen bzw. veranlassen durch chemische Umsetzungen, die zwischen den Zerfallsprodukten und den gelösten Salzen stattfinden.

Sapropelite mit höherem Kaustobiolith-Gehalt, aus der Tertiärformation, heißen Dysodil (ein Ausdruck CORDIERS von 1808, vom Griechischen Präfixum dys = übel und od(-meis) = duftend, wegen des Geruchs beim Brennen), — aus dem Carbon u. a. Cännelkohle (englisch Cannel-Coal, korrumpiert aus dem Englischen candle (lateinisch candela) die Kerze, weil diese Kohle wie ein Licht oder eine Fackel mit leuchtender Flamme brennt). Die von der Technik verwerteten Dysodile und Cannelkohlen entsprechen aber nur z. T. reinem Faulschlamm; denn wie dieser meist vermischt mit anderen Sedimenten auftritt, so war es auch in der Vorzeit. Bei dem hohen Gasgehalt sind aber Sapropelite auch bei höherem Gehalt an primärer und sekundärer Asche für die Technik ergiebig, so daß diese terminologisch keinen Unterschied gemacht hat. Wir hier müssen das allerdings tun und deshalb nannte ich solchen Dysodil bzw. den Teil desselben, der wesentlich aus Faulschlamm allein hervorgegangen ist, Saprodil (vom Griechischen sapos und odmeis) und Cannelkohle gleicher Art Sapanthrakon (von sapos und dem Griechischen anthrax = Kohle). Allerdings sind Saprodil und Sapanthrakone als Gesteine oder, wenn man lieber will, Minerale selten, da die Sapropelite meist beträchtlichere Mengen von sekundärer Asche besitzen; aber ebenso wie wir für die Zersetzungszustände des Humus bei ihrer großen Verschiedenheit besonderer Bezeichnungen bedürfen, nämlich Torf, Braun-, Steinkohle, Anthrazit, so auch für die organische Substanz der kaenozoischen und der älteren besonders palaeozoischen Sapropelite: Saprodil einerseits und Sapanthrakon andererseits. Wir hätten demgemäß die folgende Reihe vom rezenten Material bis zum ältesten reinen Saprodit: 1. Echte Wasser-Pflanzen und -Tiere, resp. Organismen, die in chemischer Hinsicht sich wie die Tiere verhalten, 2. Saprodit, 3. Saprokoll, 4. Saprodil, 5. Sapanthrakon.

im Gefolge hat, und den damit verbundenen weitgehenden Landsenkungen immer wieder Sapropelitlager in größere Teufen geraten sein, wo eine höhere Temperatur herrscht. Diese in Verbindung mit dem dort vorhandenen Druck wird vielfach die Sapropelite soweit angreifen können, daß es bis zu einer Druckdestillation kommt; die Folge ist dann die Entstehung eines flüssigen Kohlenwasserstoffgemenges als Destillationsprodukt, das wir als Petroleum kennen. Petroleum würde daher in unserer Klassifikation ein abgeleiteter Sapropelit sein.

Die Sapanthrakone und die durch nicht übermäßigen Aschegehalt dahin neigenden Sapropelite insbesondere aus der Steinkohlenformation und dem Perm haben ein mattes oder schwach fettglänzendes (seidig-glänzendes, satiniertes) Ansehen: sie sind Mattkohlen, im Gegensatz zu den aus Landpflanzenresten hervorgegangenen palaeozoischen Kohlen, die gewöhnlich stark glänzend sind und daher Glanzkohlen genannt werden. Besonders lehrreich sind diesbezüglich Vorkommnisse von Cannelkohlen, die im ursprünglichen Schlammzustande den Boden für eine Platz greifende Sumpfvegetation bildeten, sodaß in ihr die unterirdischen Organe der höheren Sumpfpflanzen — insbesondere „*Stigmarien*“ — vorfinden, die sich dann stark glanzkohlig glänzend von der sie einbettenden matten Cannelkohle abheben. Dasselbe ist der Fall mit den „*Vertebrarien*“, das sind die Rhizome des Farns *Glossopteris*, die glanzkohlig in australischem matten Sapanthrakon-Gestein („Kerosin-Schiefer“) vorkommen. Die jüngeren Humusgesteine und selbst die Braunkohlen sind noch nicht glänzend; sie werden es erst im Verlauf der weiteren Fossilisation bzw. durch Einwirkung stärkeren Drucks und von Hitze (Duxer Braunkohle, Miesbacher tertiäre Steinkohle usw.). Die palaeozoischen Vegetationen erzeugten offenbar noch kein Harz, deshalb ist vielleicht mit zu berücksichtigen, daß die Humussubstanz aus den harzhaltigen neueren Vegetationen bei dem nur matten Glanz des Harzes, das in Verteilung noch matter wirkt, wohl auch dadurch schlechter den hohen Glanz der palaeozoischen Humuskohlen annimmt. Sapropelite jedoch — mögen sie so alt oder so jung sein, wie sie wollen — sind stets matt.

Auch in anderen Eigenschaften bleiben alte und junge Sapropelite sehr ähnlich. So wurde p. 22 u. 26 schon die ungemaine Festigkeit und Zähigkeit von lufttrockenem Faulschlamm und der reich saprodil- bzw. sapanthrakonhaltigen Sapropelite gegenüber der sehr viel leichteren Zerbrechbarkeit von Humusgesteinen jeden Alters hervorgehoben; ferner ist auf die weit größere Neigung zu einer auffälligen Schieferung hinzuweisen. MARPMANN hat 1898 nachgewiesen, daß wenn feuchte oder flüssige Gesteinsmassen bei Anwesenheit von Gasen einem Druck ausgesetzt werden, sodaß die Gase nicht oder nur sehr langsam entweichen können, daß dann die fest werdende Gesteinsmasse schieferig wird.

Die sich zersetzenden organischen Massen bieten also gerade die trefflichsten Bedingungen zur Entstehung einer Schieferung, nachdem sie zur Bedeckung gelangt sind. Besonders auffällig ist die so entstandene Schieferung an rezenten oder subfossilen Sapropeliten zu beobachten, die den Saprokollzustand erreicht haben, indem sie sich beim Trocknen an der Luft dann gern in auffälligster Weise blättrig in Richtung der Schichtungsfläche aufspalten. Diese Schieferung ist oft, ja sogar fast immer mit Schichtung verwechselt worden.

Die Sapanthrakone und reineren Sapropelite, kurz Faulkohlen überhaupt sind nicht so häufig wie die Humussteinkohlen, da sie mehr lokaler Entstehung sind. Das Verhältnis ist eben dasselbe wie heute zwischen Faulschlamm und Moortorf. Die palaeozoischen Faulschlamm haben niemals die große horizontale Erstreckung wie die Glanzkohlen, sie sind vielmehr gewöhnlich in dieser Ausdehnung beschränkt, oft nur „linsenförmig“ eingelagert; die Gestalt der Lager entspricht den ehemaligen Seen und Wasserstellen. Meist nehmen auch die palaeozoischen Faulschlamm, wo sie mit Humuskohlen zusammen vorkommen, das Liegende derselben ein, wie heute die rezenten Faulschlamm gewöhnlich unter den Landtorfen auftreten. Aber das ist natürlich nicht nötig, denn es kann ein Moorgelände nachträglich so stark vernässen, daß wieder Faulschlamm entsteht.

Schon der lufttrockene und dann sehr feste Faulschlamm kann ganz in seinem äußeren Aussehen den Habitus von Sapropelkohle haben, durch die makroskopisch homogen erscheinende Beschaffenheit, die matte oder höchstens mattglänzende, dunkelbraune Farbe, die meist sehr feste, zähe Konsistenz und den muscheligen Bruch. Die Cannel-Kohle von Kaluga in Rußland z. B. hat dieselbe dunkle Farbe und sieht dabei auch im übrigen makroskopisch aus wie manche diluviale Sapropelite (z. B. wie der Sapropel-„Töck“ von Helgoland). In chemischer Beziehung ist ebenfalls eine höchst bemerkenswerte Übereinstimmung vorhanden: die rezenten und palaeozoischen Sapropelite usw., sofern sie hinreichend Sapropel enthalten, brennen mit leuchtender Flamme, beide ergeben feste Paraffine und in reichlicherem Maße Öle von Petroleum-Charakter usw. Die Technik benutzt denn auch entsprechende Termini für beide, wie sich aus der Liste der Synonyme von Sapropel und rezenten Sapropeliten in meinem Buch über die rezenten Kaustobiolithe (I 1908 p. 143 ff.) und die hinten folgende Liste über die Namen für die meso- und palaeozoischen Sapropelite ergibt. Die Landtorfe und Landkohlen ergeben im Gegensatz zu den rezenten bis palaeozoischen Sapropeliten mehr die chemischen Verbindungen der Benzolreihe. Die Verbindungen der Paraffinreihe sind wasserstoffreicher und damit kohlenstoffärmer als die der Benzolreihe, und es erklärt sich das Vorwiegen von Produkten der letzteren bei den Landtorfen und Landkohlen wesentlich aus ihren Urmaterialien.

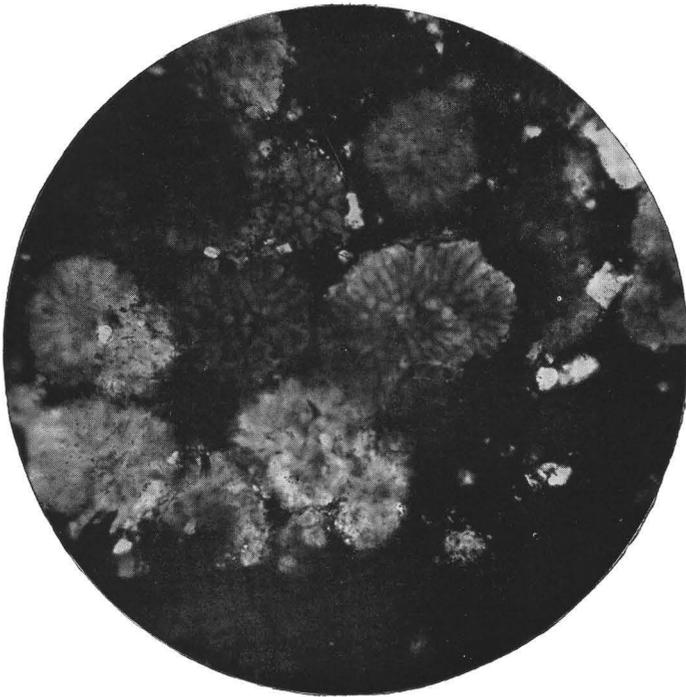


Fig. 26. Stark sapanthrakonhaltiger Sapropelit („Boghead“) aus dem Perm von Autun. Schliff in Richtung der Schichtungsfläche. $\frac{75}{1}$ der natürl. Größe. Die Algen („*Pila bibractensis*“) zeigen zum Teil noch deutlich die Zellenstruktur. — Nach einer Photographie von C. EG. BERTRAND.



Fig. 27. Sapanthrakon-Gestein („Kerosene shale“) von Blackheath westlich von Hartley in Australien. Schliff senkrecht zur Schichtungsfläche. $\frac{75}{1}$ der natürl. Größe. Die Algen („*Reinschia australis*“) sind zusammengesunken (bandförmig). — Nach einer Photographie von C. EG. BERTRAND.

Die technischen Eigenschaften der Sapanthrakone und überhaupt der sapropelreichen palaeozoischen Sapropelite machen ihre Unterscheidung von den Humuskohlen (den Steinkohlen im engeren Sinne) auch für die Praxis notwendig: Die Sapanthrakone usw. sind bei ihrem H-Reichtum sehr leicht entzündbar.

Unter dem Mikroskop erweisen sich die fossilen Sapropelite — sofern überhaupt figurierte organische Reste noch vorhanden sind — genau wie die rezenten wesentlich aus Plankton hervorgegangen. Das fast stete Vorhandensein von Algen in Sapropeliten, wenn sie auch zu-

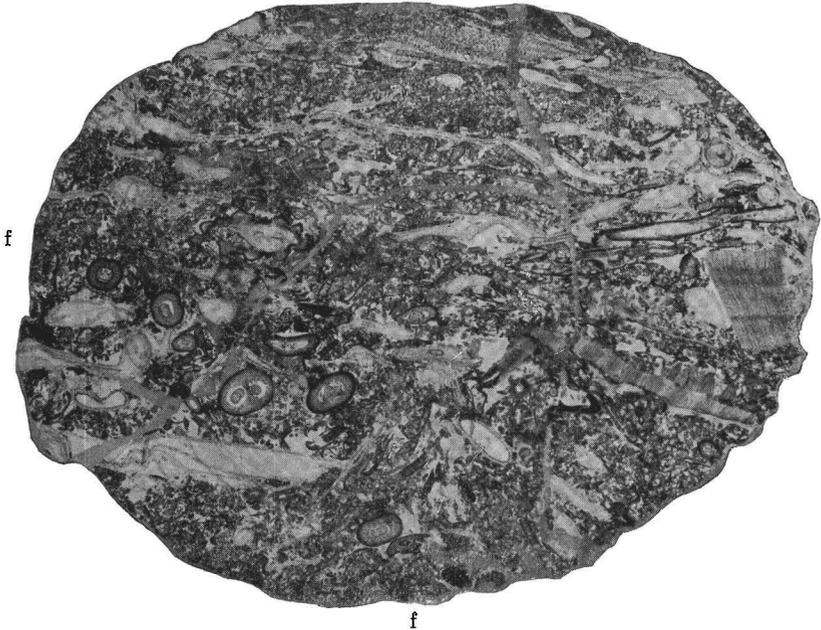


Fig. 28. Schliff durch ein intuskrustiertes (und zwar dolomitisiertes) Stückchen Humussteinkohle („Dolomitknolle“) aus dem Carbon des Ruhr-Reviers. In etwa $\frac{1}{10}$ der natürl. Größe. Namentlich links in dem Streifen f—f eine Anzahl Querschnitte durch Farnwedelstiele; rechts und links von diesem Streifen die Querschnitte einiger *Stigmaria*-Appendices mit sehr großer Lakune usw.

weilen in noch erkennbarer Form sehr zurücktreten können, ist sogar für palaeozoische Sapropelite erweisbar. A priori möchte man annehmen, daß wohl wenig Aussicht vorhanden sei, in bereits steinkohlenartig umgebildeten Kohlen die Algen noch zu erkennen. Um so überraschender ist es, daß das vielfach in wundervoller Weise gelingt und zwar bedingt durch die Erhaltungsfähigkeit von Organismen, die frisch in Faulschlammbildungen hineingeraten. Betrachtet man Schlitze gewisser Sapanthrakone unter dem Mikroskop wie die in den Figuren 26 und 27 vorgeführten palaeozoischen Beispiele, so erkennt man trefflich eine dunkle, mehr oder minder homogene Grundsubstanz, in der oft zahllose

ungegliederte, gelbe, aus gleichartigen, parenchymartigen Zellen bestehende Gewebekörper eingebettet sind, die durchaus den Habitus von Algen haben, und auch die übrigen üblichen Bestandteile wie Pollen und Sporen stimmen in beiden Fällen überein. Wie wir vorn p. 24 u. 25, um einen direkten Vergleich zu haben, die Figuren 6 (Torf) und 7, 8 (Sapropel) nebeneinander gestellt haben, so sei auch hier die Gelegenheit benutzt, in Fig. 28 einen Schliff durch Humussteinkohle zu bringen, um den großen Unterschied zu den figuriert erhaltenen Resten im Sapanthrakon Fig. 26 u. 27 zu veranschaulichen. Man versäume nicht, diese Figuren mit denjenigen (Fig. 6—8) der rezenten, genetisch gleichen Kaustobiolithe zu vergleichen, um die Übereinstimmungen zwischen den rezenten und fossilen Sapropeliten einerseits und den rezenten und fossilen Humus-Kaustobiolithen andererseits ordentlich zu verstehen.

Ein von C. EG. BERTRAND untersuchter weiterer Sapropelit, der „bituminöse Schiefer“ des Perm von Bruxière-les-Mines und St. Hilaire (im Département de l'Allier) enthält nach diesem Autor (1898) 22,28 % Sapanthrakon, 77,12 % anorganisches Material (Sand, Ton und Kalk) und 0,50 % Wasser. Mikroskopisch sind nach dem Genannten zu beobachten:

| | | | | |
|---|---|--|---|--------------------|
| Überwiegend aquatisch- autochthone Bestand- teile | } | Knochen (nicht häufig) | } | Tier- reste |
| | | Fischschuppen (viele) | | |
| | | Koprolithen (viele) | | |
| Drift- Bestand- teile | } | Amorphes Material (viel) | } | Pflanzen- reste |
| | | Algen (sehr selten) | | |
| Drift- Bestand- teile | } | „ <i>Zoogloecites</i> “ (eine Gallert-Bakterie?) | } | Pflanzen- reste |
| | | Unbestimmbare Pflanzenpartikel | | |
| | | Pollen, z. B. von <i>Cordaites</i> (sehr viel) | | |
| | | Sporen (sehr wenig) | | |
| | | Anorganische Sedimente (überwiegend) | | |

Man vergleiche diese Liste mit den Angaben unter den Figuren 7, 8 u. 9 eines rezenten Faulschlammes p. 25, um die prinzipielle Ähnlichkeit mit der palaeozoischen Faulkohle zu erkennen. Die Rolle des *Pinus*-Pollens spielt in dem obigen Beispiel der *Cordaites*-Pollen, der übrigens wie der *Pinus*-Pollen ebenfalls Luftsäcke besitzt. Die Übereinstimmung der mikroskopischen Bestandteile mit denjenigen der rezenten ist oft geradezu überraschend.

Der von C. EG. BERTRAND (1892 u. 1897) untersuchte „Boghead“ aus dem Perm von Autun enthält außer anorganischen Sedimenten (35—48 %) natürlich von organischem Material wieder die amorphe Grundsubstanz, ferner sind vorhanden sehr viele Algen (vergl. Fig. 26), ferner Pollen von *Cordaites*, Sporen, Holz, unbestimmbare Pflanzenpartikel, Tierreste wie solche von *Fischen*, *Crustaceen* und größere Koprolithen.

Auch in anatomischer Beziehung stehen rezenter Faulschlamm und die Sapropel-Kohle demnach auf derselben Stufe. Oft genug sind mit bloßem Auge sichtbare Reste größerer Organismen vorhanden. Es ist oft Meeres- oder Brackwasserfauna, die sich in den Sapanthrakon-Gesteinen selbst oder in den unterlagernden oder überdeckenden Schichten findet, so auch im oberschlesisch-mährischen Revier, in Schottland und anderswo. Es finden sich Fischreste, Meeres- resp. Brackwasser-*Mollusken*, Koprolithen von *Fischen* und *Reptilien* usw.

Eigentliche mikroskopische Untersuchungen von Sapanthrakon-Gesteinen hat, wie wir schon sahen, insbesondere C. EG. BERTRAND angestellt. Nur ganz nebenbei und untergeordnet hat dieser Autor aber auf rezente Vorkommnisse Bezug genommen wie auf die Algen-Wasserblüte und den Schwefelregen (darüber weiter hinten); die große Unterstützung, die ihm ein genaueres Studium der rezenten Kaustobiolith-Bildungen gewährt hätte, hat er wohl nicht vermutet und daher nicht aufgesucht. Auch ist zu beachten, daß alte Kulturländer wie Frankreich nicht mehr hinreichend geeignet sind, die rezenten in Betracht kommenden Verhältnisse zu studieren. Andernfalls hätten ihm diese die Eigentümlichkeiten, die die anatomische Struktur und die sonstige Beschaffenheit der von ihm so eingehend untersuchten Kaustobiolithe bieten, aufgeheitelt und er wäre nicht zu Anschauungen gelangt, die fernab von den Erfahrungen liegen, die die Gegenwart bietet (vergl. vorn p. 14). In einer Beziehung ist aber die Vernachlässigung des Vergleichs von fossilen mit rezenten Kaustobiolithen bei BERTRAND nicht zu beklagen, sondern man kann sie als eine Art glücklichen Umstandes ansehen, insofern als wir dadurch ein Material in die Hände bekommen haben, das unbeeinflusst von etwa vorgefaßten Meinungen gewonnen, nun trefflich gestattet, die noch mangelnden Vergleiche anzustellen, um ein Urteil über die Genesis der fossilen Kaustobiolithe gewinnen zu können. Neuerdings (1905, 1907) hat dann aber BERTRAND auf meine Arbeiten Bezug genommen.

An seine und anderer Autoren Neigung, die Kaustobiolithe, insbesondere die Sapropelite nach den noch in ihnen figuriert erhaltenen Reste zu klassifizieren, ist der folgende Maßstab zu legen.

Wo in Sapropeliten einmal die tierischen Reste vorwalten oder vorzuwalten scheinen, lassen sich auch die Saprodile und Sapanthrakone, überhaupt die Sapropelite einschließlich des rezenten Faulschlammes, je nach der Auffälligkeit der sie zusammensetzenden noch figuriert erhaltenen, d. h. der noch strukturell (mikroskopisch und makroskopisch) erkennbaren Konstituenten, in der Tat gelegentlich in zoogene und phytogene Sapropelite sondern. Es wäre aber sehr verkehrt, ein gar zu großes Gewicht für die Klassifikation besonders der Sapropelite, aber auch der Humusgesteine auf die noch figuriert erhaltenen Bestandteile zu legen: das Wesentliche bleibt doch gewöhnlich die amorphe

Grundsubstanz, die einmal wesentlich tierischer (verfaulte Tierreste, Exkremeute), ein andermal vorwiegend pflanzlicher Herkunft und ein drittes Mal von beiden organischen Reichen gleichmäßig bedacht worden sein kann. Wenn sich also gar keine erkennbaren Tierreste mehr finden, darf nicht gefolgert werden, daß wir einen ausschließlich phytogenen Kaustobiolith vor uns haben. Leicht zerfallende Tiere, wie *Infusorien* ohne resistenterer (Chitin- usw.) Teile können nur eine amorphe Grundsubstanz liefern, ebenso manche Pflanzen und Pflanzenteile. Genau wie bei den rezenten Faulschlammern haben sich nur diejenigen Teile figuriert erhalten, die chemisch sehr widerstandsfähig sind, und diejenigen, die frisch oder soeben abgestorben eingebettet worden sind. Rein oder fast rein phytogene Sapropelite sind am ehesten vorstellbar, weil Pflanzen allein (von unorganischer Nahrung) leben können; aber die Überlegung, daß ein tierisches Leben nur dort möglich ist, wo im letzten Ende hinreichende Pflanzennahrung vorhanden ist, macht es höchst wahrscheinlich, daß bei der Entstehung der sogenannten „zoogenen“ Sapropel-Gesteine doch gewöhnlich Pflanzen reichlich mitgewirkt haben, die nur gleichmäßig zersetzt sind, so daß ihre Reste jetzt nicht mehr oder nur noch als „untergeordnete“ Konstituenten zu erkennen sind.

Da man also bei dem trügerischen mikroskopischen Bild meist nicht mehr entscheiden kann, ob das Sapropel eines Sapropelites wesentlich tierischer oder wesentlich pflanzlicher Herkunft ist, kann eine Unterscheidung in zoogene resp. phytogene Sapropelite durchaus nicht mehr besagen als: im ersten Falle zeigt die mikroskopische Betrachtung wesentlich tierische, im zweiten Falle wesentlich pflanzliche Reste, die sich noch so figuriert erhalten haben, daß eine Zuweisung zum Tier- oder Pflanzenreich möglich ist.

Die Zerstörung der figurierten Teile geht auch später noch weiter, wenn die anorganisch-mineralischen Beimengungen aus chemisch leichter beweglichen oder leicht löslichen Verbindungen bestehen, besonders wenn es sich um größere Zusätze von Kalk, Eisenverbindungen oder $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (also opaliger Kieselsäure) handelt. Je reiner der Sapropelit ist, d. h. je mehr Sapropel er enthält oder enthielt, um so leichter erhalten sich figurierte Bestandteile. Aber selbst in den vielen Fällen, in denen Sapropelite unter dem Mikroskop sich zum Teil sogar dicht erfüllt mit Organismenresten ergeben, werden die letzteren doch bei einer Beurteilung der Herkunft des kaustobiolithischen Materials kaum gebührend gewürdigt. Es wird vielmehr viel zu viel Rücksicht genommen auf die mit bloßem Auge sichtbaren Fossilien, und wenn man außer diesen sonst nichts sieht, so meint man nur zu oft: diese großen Organismen seien die wesentliche Quelle des Kaustobioliths, es sei weiter nichts vorhanden, oder — in voller Verkennung der quantitativ so ausschlaggebenden Mikroorganismen — diese kämen nicht in Betracht. Oft-

mals sind übrigens Reste mikroskopischer Organismen in Gesteinen — Sapropeliten oder anderen Kaustobiolithen — vorhanden, denen man es auch unter dem Mikroskop nicht ohne weiteres leicht ansieht, die aber auffällig in die Erscheinung treten bei Anwendung der von BLEICHER 1895 für Gesteinsschliffe angegebenen Färbemethode, die leider noch keine Anwendung findet, aber größere Beachtung verdiente.

Übrigens kann auch ein und derselbe Sapropelit je nach den entnommenen Proben einmal ein „phytogener“, ein andermal ein „zoogener“ Sapropelit scheinen; sehr belehrend sind nach dieser Richtung die leichter und schneller als die fossilen untersuchbaren rezenten Sapropel. Die Figuren 7 und 8 stellen zwei Proben von Sapropel dar, die von ein und derselben Stelle aus demselben verlandeten See herkommen, von denen Probe Fig. 7 nach den figurierten Resten allein beurteilt ein phytogenes, Fig. 8 ein zoogenes Sapropel genannt werden müßte.

Die Farbe der Sapropelite kann eine sehr verschiedene sein. Sehen wir von der eventuell durch die anorganisch-mineralische Beimengung bedingten Färbung ab, so kann Sapropel sehr hell sein und ist je nach der Menge hinzukommender Humussubstanz dunkler bis schwarz. Helle Exkremeute können so überwiegen oder die Zersetzung kann so weit gehen, daß nur schwer zersetzliches Fett zurückbleibt, wie der schwache, weiße Fettgehalt im Globigerinenschlamm der Tiefsee. So gibt es denn sehr helle, aber doch typische Sapropelite, wie z. B. sehr auffällig ein solcher im Hangenden eines miocänen Braunkohlenlagers bei Eger in Böhmen vorkommt, das also nach seiner Entstehung den Boden eines Gewässers bildete, in welchem später Sapropelit sich niederschlug. Dieser Sapropelit („Cyprisschiefer“) ist ein graugrünlich-gelblicher Sapropel-Ton mit überraschend großem Gehalt an brennbaren Gasen, die bei der Trockendestillation davongehen mit Zurücklassung eines natürlich intensiv schwarz-köhllich gefärbten Tones. Bei der mikroskopischen Untersuchung zeigen sich in diesem Sapropel-Ton gleichmäßig und massenhaft vorhanden als wesentliche Bestandteile des Gesteins kleine mehr oder minder kugelförmige bis ellipsoidische Bildungen, die auch beim Glühen nicht verschwinden, sondern schwarz werden. Diese figurierten Teile sind vielleicht „Fäkalkugeln“, wie RHUMBLER (1894) solche in *Saccamina sphaerica* fand, und die den von FR. E. SCHULZE vorgeschlagenen international wissenschaftlichen Namen Sterkome führen. Die Sterkome sind nach diesem Autor (1906 p. 6) gegen chemische Einflüsse (sowohl starke Alkalien wie Mineralsäuren) äußerst resistent, das ist auch der Fall bei den fossilen „Sterkomen“. Außerdem sind in diesem interessanten Sapropelit noch figuriert erhalten andere kugelförmige Körperchen, die Algen sein könnten, Spongillen-Nadeln? ferner Pollenkörner ähnlich denen von *Picea*, auch Zapfen von *Coniferen*, ferner ebenfalls hineingefallene Blätter und Früchte,

ferner Krebschen (*Cypris*) stellenweis in großer Menge und endlich Fischreste.

Als „Turf of Marahú“, vorkommend bei dem Ort Marahú etwa 100 km südlich von Bahia in Brasilien, wird ein Kaustobiolith wohl tertiären Alters beschrieben, der mittels eines Streichholzes sich leicht entzünden läßt und von licht-brauner (blonder) oder dunkelgrauer Farbe ist. Er schwimmt auf dem Wasser. Vielleicht handelt es sich um einen ähnlichen, aber wesentlich aschenärmeren Kaustobiolith wie den *Cypris*-Schiefer. C. EG. BERTRAND (1905 p. 365) meint, „la turfe du Rio Marahú“ sei wesentlich aus Algen gebildet.

Sapropel (rezentens und fossiles) ergibt bei der Destillation unter gleichen Bedingungen mehr brennbare Gase und Teer (und zwar Ölteer), Humus (rezentens und fossiler), wenige Gase und wenigen, dicken Teer, und der Koks resp. C-Rückstand ist bei Sapropel (rezentem und fossilem) dementsprechend weit geringer als beim Humus (rezentem und fossilem). Der unter dem Namen Kerosinschiefer bekannte palaeozoische Sapropelit Ost-Australiens z. B. ergab in einem Fall nicht weniger als 60 % Teer, 3 % Gas (und Verlust) und nur 35 % Koks, außerdem 2 % H₂O. Diese Eigenart beruht auf dem hohen H-Gehalt des Sapropels, Saprodils resp. Sapanthrakons. Hierfür einige Beispiele, wobei gleichzeitig auch um des bequemeren Vergleichs halber Liptobiolithe mit aufgeführt werden. Die folgende Tabelle (vergl. SPÄTE 1907, STREMMER 1907, sowie beide Autoren gemeinsam 1907) faßt 57 Analysen zusammen.

| | Sapropelgesteine | | | Humusgesteine | | | Liptobiolithe | | |
|--------------|------------------|--------|----------------|---------------|--------|----------------|---------------|----------|----------------|
| | C % | H % | H auf C=100 | C % | H % | H auf C=100 | C % | H % | H auf C=100 |
| Quartär . . | 50—57 | 6—7 | 12 | 50—60 | 5—6 | 10 | 72—82 | 7—11 | 12 |
| Tertiär . . | 65 | 8,5—9 | 13 | 60—75 | 4—6 | 7,5 | 64—86 | 5,5—11,5 | 12,5 |
| Mesozoikum | 69,5—76 | 8,5—12 | 14 | 75—87 | 4—5 | 5,5 | — | — | — |
| Palaeozoikum | 75—83 | 7,5—10 | 11 | 80—95 | 1,5—6 | 4 | — | — | — |

Bei Behandlung von Kohle, Steinkohle u. dergl. mit Kaliumchlorat (KClO₃) und Salpetersäure (HNO₃) — also mit der von FRANZ SCHULZE empfohlenen Mazerations-Flüssigkeit — wird die Kohle durch eine sich einleitende Oxydation mazeriert, d. h. sie wird gewissermaßen wieder zum Torfstadium übergeführt, denn Torf enthält mehr Sauerstoff als Steinkohle, die durch längere Selbstzersetzung sauerstoffärmer geworden nun durch die erwähnte Behandlung wiederum eine Sauerstoffzufuhr erfährt. Nach nunmehriger Hinzufügung von Ammoniak (NH₃) oder überhaupt einer alkalischen Lösung wie Lithiumkarbonat, das ich sehr bewährt und bequem gefunden habe, wird gelegentlich alles oder nur ein Teil der Kohle gelöst. Bei rezenten und subfossilen Kohlen und selbst meist bei

Braunkohle des Tertiärs ist selbstredend eine Lösung der homogenen Substanz bei Zusatz von Alkali ohne weiteres, ohne vorherige Mazeration möglich. Aus der Lösung wird durch eine stärkere Säure (z. B. HCl) eine flockige Fällung von Humus erzielt. Die nicht in NH_3 usw. löslichen Bestandteile sind die noch figuriert erhaltenen und Asche; eine Kohle, die sich vollständig oder fast vollständig löst, entspricht dem Dopplerit. Solche Dopplerit-Kohlen kommen in allen Kohle führenden Formationen vor; sie sehen von vornherein wie der Dopplerit sehr schön homogen aus. In Braunkohlenlagern zuweilen in Nestern oder Spalten und Rissen vorkommend, sind sie gagatähnlich und lufttrocken schwarz wie im Torf, — in Schwarzkohlen, die so wie so zersetzter, also homogener, d. h. doppleritischer sind, ist der Unterschied dann aber kaum mehr recht wahrnehmbar. Die Übereinstimmung zwischen Torf und mazerierter Kohle ist also nach der angegebenen Richtung so vollständig, wie man sie nur erwarten kann.

Benutzt man nun diese Methode auch zur Untersuchung von rezenten oder fossilen Sapropeliten, so ist der Unterschied von Humus-Kaustobiolithen insofern sehr auffallend, als bei den Sapropel-Urmaterialien mit ihrem ursprünglich geringen Kohlenhydratgehalt, also nach ihrer Zersetzung geringen, oft so gut wie fehlenden oder verschwindend geringen Humusgehalt, lösliche Humusstoffe nicht oder nur untergeordnet in die Erscheinung treten. In den meisten Fällen ist aber dem Sapropel, Saprodil oder Sapanthrakon rezenter bzw. fossiler Humus beigemischt, wie sich schon aus der dargestellten Genesis ergibt; je nach der helleren oder dunkleren Färbung³ der in der angegebenen Weise gewonnenen Lösung läßt sich ein Bild über das Quantum an vorhandenem Humus gewinnen. Besonders groß ist der Gehalt an fossilem Humus in der Pseudo-Cannelkohle MUCK's und daher hier hervorzuheben.

Wie Saprokoll oder sonst ein subfossiler oder rezenter Sapropelit allermeist die Basis von Moortorfen einnimmt, so bilden auch Sapanthrakon-Gesteine, wo sie überhaupt vorkommen, meist das Liegende der palaeozoischen Kohlenlager. Wie bei Wasserbedeckung von Moortorf sofort wieder Faulschlammabsetzung einsetzen kann und dann eine Wechschichtung zwischen Saprokoll und Moortorf eintritt, so gibt es viele Profile, die einen Wechsel von Sapanthrakon- und Humuskohle zeigen. Auch das Hangende von Steinkohlenlagern kann durch eine Sapanthrakon-Schicht abgeschlossen werden, was gewiß nichts Überraschendes hat. Die Sedimentierung, die das Lager nach oben abschließt, erfolgte durch einen Wassereintritt. Wo dieser erst langsam einsetzend von einer bloßen Überschwemmung eingeleitet wird, kann, solange noch hinreichende Ruhe herrscht, wieder Sapropel entstehen, das dann erst von Sedimenten bedeckt wird.

Moore, die eine regelmäßige Wasserbedeckung besitzen oder einer periodischen Wasserbedeckung unterliegen, liefern ein autochthones Humusgestein, das zum Teil von den auf dem Moor wachsenden Land-

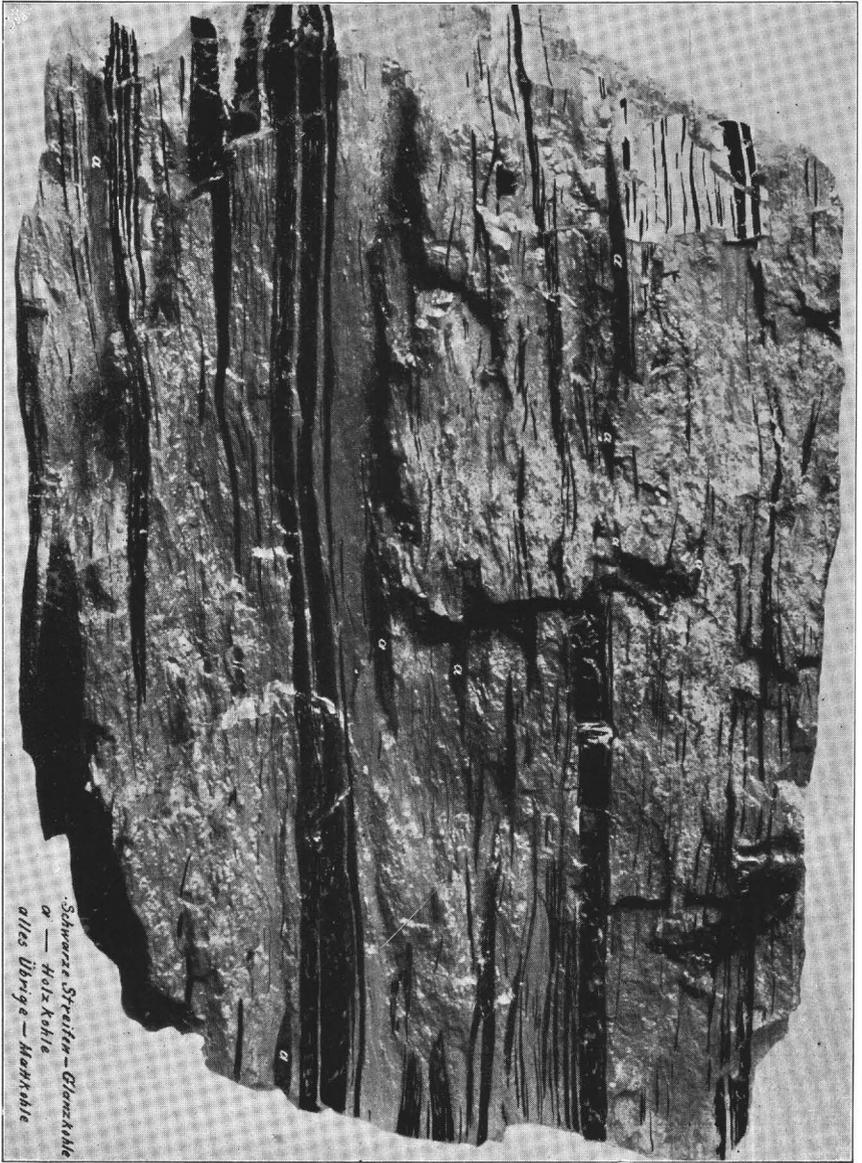


Fig. 29. Streifen-Schwarz-(Stein-)Kohle aus dem Steinkohlenrevier an der Saar (Grube St. Ingbert in der Pfalz). Natürliche Größe. Die schwarzen Streifen sind Glanz-(Humus-)Kohle, a sind jedoch Holzkohlenreste. Die hellen Partien sind Matt-(Paul-)Kohle.

zum Teil von den echten Wasserorganismen zusammengesetzt wird, oder aber ein Lager, das in dünneren Schichten einen steten Wechsel von Saprokoll und Torf, im Palaeozoikum von Sapanthrakon und Humuskohle zeigt: dies ist, wie wir p. 26 sahen, die karbonische

„Streifenkohle“, in der die matten Lagen fossiler Faulschlamm, die Glanzkohlenlagen fossiler Moortorf sind (Fig. 29).

Die abgebildete, „fette“ Streifenkohle von St. Ingbert ist denn auch entsprechend ihrem hohen Sapanthron-Gehalt sehr H-reich und die Ausbeute an Koks ist relativ gering. Nach einer von GÜMBEL (1865) mitgeteilten Analyse enthält nämlich diese Kohle 80,53 C; 5,06 H; 11,91 O; 0,02 N (2,48 Asche) und die Ausbeute an Koks beträgt 62,68^o/. Demgegenüber hat z. B. eine beliebige englische Humus-(Glanz-)Kohle 88,36 C; 3,86 H; 3,31 O, N und S (3,72 Asche) und die Ausbeute an Koks beträgt 87,16^o/>.

Der Kämpf, der in der angegebenen Weise zwischen Wasser und Sumpf- bzw. Moorgelände stattgefunden hat, malt sich in Profilen wie dem folgenden von der Zeche Schlägel und Eisen bei Recklinghausen in Westfalen. Wir haben dort das folgende Profil:

- | | | | |
|----|------|--------|----------------------------|
| 5. | rund | 10 cm | Glanzkohle (Gasflammkohle) |
| 4. | „ | 95 „ | Streifenkohle |
| 3. | „ | 8—15 „ | Cannelkohle |
| 2. | „ | 10 „ | Streifenkohle |
| 1. | „ | 1,30 m | Cannelkohle. |

Wir lernen aus diesem Profil, daß zunächst (1.) eine Wasserbedeckung vorhanden war, in der Faulschlamm entstand. Die Wasserbedeckung nahm ab (2.), sei es durch Aufhöhung des Bodens durch den Faulschlamm, sei es durch sonstigen Wasserverlust oder Verlandung durch Sumpfpflanzen, und es konnte nun ein Moor entstehen, das aber periodischen Überschwemmungen ausgesetzt war, sodaß dann die Faulschlamm-Bildung immer wieder einsetzte. Die Folge war die Entstehung von Streifenkohle. Sodann (3.) trat wieder eine längere Wasserbedeckung ein, die wiederum eine gleichmäßige Faulschlamm-Bildung ermöglichte. Wieder (4.) ging das Wasser zurück, doch nur so, daß wieder Streifenkohle entstehen konnte. Endlich (5.) verschwand das Wasser dauernd so weit, daß nunmehr eine reine Moorbildung möglich war, die sich im Profil durch das Vorhandensein von reiner Glanzkohle (spezieller „Gasflammkohle“) kund tut.

Eine Erläuterung dazu geben unsere heutigen Sapropelteppiche („Meteorpapier“), das sind Teppiche von Sapropel, die auf unseren Wiesen und Torflagern nach dem Zurückweichen einer Überschwemmung zurückbleiben (Fig. 30), es sei denn, daß es sich in gewissen Streifenkohlen um Kohlen handelt, in die während ihrer Entstehung ständig und regelmäßig sehr viele Landpflanzenreste hineingeraten sind. In solchem Fall kann ebenfalls ein streifiges Aussehen erzielt werden, da die eingebetteten Landpflanzenreste dann sichtbar bleibend inkohlt werden und dann als glänzende Streifen in der matten Kohle in die Erscheinung

treten müssen (vergl. p. 54 auch *Stigmaria* usw. in Cannelkohle). Die Mengung von humus- und sapropelbildendem Material kann — wie angedeutet — aber sehr innig sein; es kann z. B. ein sapropelbildendes Wasser auch sehr viele humusbildende höhere Wasserpflanzen enthalten oder in Wasserstellen eines Moores kann Sapropel entstehen, das sich dann mit dem sich bildenden Torf gleichmäßig mischen kann. Der resultierende Kaustobiolith gibt dann mit bloßem Auge die Urmaterialien nicht ohne weiteres zu erkennen. Ein solcher palaeozoischer Kaustobiolith ist nun eben die Pseudo-Cannelkohle, die den rezenten Sapropel- bzw. Saprokoll-Torfen entspricht. Schon der Ausdruck „Pseudo-Cannelkohle“



·Fig. 30. Sapropelteppich (Meteorpapier) auf einem Flachmoor.

weist darauf hin, daß diese Kohle zwar äußerlich der Cannelkohle ähnlich sieht, jedoch gewisse Eigentümlichkeiten aufweist, die eine Trennung von der echten Cannelkohle verlangen. Welche Stellung sie nun aber innerhalb der genetischen Klassifikation der Kohlen einnimmt, war gänzlich unklar geblieben.

Dr. OTTO BARSCH (1908) hat nun auf meine Veranlassung versucht, die Frage auf chemischem und mikroskopischem Wege zu lösen. Nach der MUCKschen Definition läßt sich die Pseudo-Cannelkohle nicht eindeutig bestimmen. MUCK selbst hat Kohlen ganz verschiedener Art unter dem Namen Pseudo-Cannelkohle vereinigt. Die Untersuchungen ergaben u. a., daß MUCK selbst eine Bogheadkohle und eine Glanzkohle, die durch Sedimente verunreinigt war, als Pseudo-Cannelkohle bezeichnet hat. Im

allgemeinen ergab sich, daß die Pseudo-Cannelkohle ein Mittelding zwischen Humuskohle und Sapanthrakon ist. Als Urmaterial der Pseudo-Cannelkohle muß man also Sapropel-Torf bzw. Torf-Sapropel annehmen, d. h. eine Entstehung in Gewässern, die Sapropel bildeten, aber gleichzeitig durch Vertorfen verlandeten. Der Beweis hierfür ergibt sich aus folgendem: 1. Das mikroskopische Bild von vorher mazerierten Pseudo-Cannelkohlen-Proben zeigt einerseits viele figurierten Bestandteile von Landpflanzen, wie sie bei Humuskohlen, und anderseits Elemente (wie besonders viele Sporen usw.) und eine Beschaffenheit, wie sie bei Sapanthrakon üblich ist. 2. Bei Mazeration der Kohle mit dem SCHULZESchen Reagens zeigt sich schon an der Färbung der Flüssigkeit der Gehalt der Kohle an Humus. Augenfälliger tritt dies zutage, wenn NH_3 im Überschuß hinzugesetzt wird. Im einen Fall erhalten wir stark dunkle Humusfärbung, im andern Fall nur eine schwache Färbung; die Pseudo-Cannelkohle nimmt diesbezüglich eine genaue Mittelstellung ein. Chromsäure zeigt ebenfalls durch Farbenänderung, ob man es mit Humuskohle oder Sapanthrakon zu tun hat; das stark reduzierend wirkende Sapanthrakon reduziert Kaliumbichromat zu Chromit, was durch Grünfärbung der Lösung ersichtlich wird, während bei Humuskohle bei gleich langer Einwirkung Grünfärbung nicht eintritt (die Lösung bleibt braun). Pseudo-Cannelkohle verhält sich auch hier genau wie eine Mischung aus Humus-(Glanz-)Kohle und Sapanthrakon (Mattkohle). Demnach ist festgestellt, daß die Pseudo-Cannelkohle ein fossiler Sapropel-Torf resp. Torf-Sapropel ist.

Spezielleres zur Synonymik der Sapropelite

Bei der ungemeinen Häufigkeit und oft praktischen Wichtigkeit der fossilen Sapropelite haben sie von der Wissenschaft und namentlich der Praxis viele Namen erhalten. Im folgenden sei eine Auswahl vorgeführt.

Die am meisten kaustobolithisches Material enthaltenden Sapropelite der Tertiärformation sind das Dysodil, und zwar versteht man darunter sowohl die reinen als die auch schon wesentlich mit organischen Sedimenten versehenen Materialien. Dasselbe führt noch verschiedene Namen, deren Vorführung uns gleichzeitig mit wichtigen Eigenschaften dieses Sapropelits bekannt machen wird. In alphabetischer Folge wären es die folgenden: Blätterkohle (Blattkohle). Dieser Name bezieht sich auf die oft dünnblättrige Beschaffenheit, da das Material leicht in lufttrockenem Zustande in braune, papierdünne Blätter auseinander geht. Daher auch der Name verhärteter Blätterton (JORDAN), der nach KEFERSTEIN (1826) ein „bituminöser Kalkmergel“ des Tertiärs am Stösschen bei Linz am Rhein ist. Er hat

„Ähnlichkeit mit Schuhsohle, Pappe und Papier“. In der Benennung blättriges Erdpech ist gleichzeitig eine Andeutung über die chemische Beschaffenheit enthalten. — Chlorophyllkohle nennt C. O. HARZ (1889) das Dysodil, weil man durch Auszug mit Alkohol und spektroskopische Untersuchung noch Chlorophyll nachweisen kann, „welches sonach teilweise unbekannte Jahrtausende hindurch sich im Schoße der Erde erhalten hat.“ Wie in rezentem Sapropel — und hier sogar oft genug noch als mit dem Mikroskop nachweisbare Chlorophyllkörper — ist also Chlorophyll auch noch im tertiären fossilen Sapropel zu konstatieren! — Kieselkohle nannte HARZ das Dysodil wegen der „konstant vorhandenen großen Menge von Kieselsäure“ in den von ihm untersuchten Proben, die aber zu den Kieselalgen (Diatomeen) „in keinerlei Beziehung“ steht. Dann handelt es sich offenbar um weiter nichts als um hineingeratenen Quarzfeinsand oder dergl. — Der Ausdruck erdpechhaltiger Polierschiefer ist auf EHRENBERG (1838 und 1846) zurückzuführen. Unser Gestein sei „offenbar ein von Erdpech durchdrungener Polierschiefer“. EHRENBERG faßte den Begriff Polierschiefer, das ist Diatomeenpelit, viel zu weit. Wenn auch gelegentlich eine größere Anreicherung von Diatomeen im Dysodil zu beachten ist, so treten sie doch meist sehr zurück. Wenn sie überwiegen, handelt es sich eben nicht mehr um Dysodil, sondern um Diatomeenpelit. — Ölschiefer heißt das Dysodil, weil es sich technisch auf Öl verarbeiten läßt. — Die verbreitete Bezeichnung Papierkohle, am Rhein auch Pappendeckel, bezieht sich auf die schon erwähnte Blättrigkeit. — Saprodil ist — wie oben gesagt — nur dasjenige Dysodil, das durch Vorherrschen von organischer Substanz dem Sapropel resp. Saprokoll entspricht, also reines Dysodil: das Zwischenstadium zwischen Sapropel bzw. Saprokoll einerseits und Sapanthracon andererseits. — Schieferkohle erklärt sich wie Papierkohle. — Der Name Stinkkohle bezieht sich auf den beim Verbrennen „unangenehmen Geruch nach verdampfendem Paraffin und Petroleum“ (HARZ). — Bei den Franzosen liest man zuweilen von einer terre bitumineuse feuilletée und dementsprechend bei uns von bituminösem Schiefer, erstens nach dem Paraffin und den CH-Ölen, den Bitumina, die die Verschwelung ergibt, und zweitens nach der Blättrigkeit, Schieferung des Materials.

Die Synonyme Ölschiefer, Schieferkohle, Stinkkohle und bituminöser Schiefer sind gleichzeitig auch solche für ältere bituminöse Kaustobiolithe wie u. a. für Cannelkohle des Palaeozoikums.

Dysodil hat nicht die erdige Beschaffenheit und den zuweilen rauhen, jedenfalls oft wenig deutlich muscheligen Bruch der Braunkohle i. e. S. (Humusbraunkohle), sondern ist, mit bloßem Auge gesehen, homogen-amorph, und hat einen deutlich muscheligen Bruch; bergfeucht ist, wie schon gesagt, Dysodil oft noch von etwas gallertiger Beschaffen-

heit, wenn auch fester als das rezente oder diluviale Saprokoll; luft-trocken ist es sehr fest und hart.

Unter dem Mikroskop betrachtet und chemisch ist das Dysodil durchaus ein tertiärer reiner und reinerer (Saprodil) oder weniger reiner Sapropelit, der bis 20 und mehr Meter mächtig auftreten kann. Es ist naturgemäß stets ein Anzeichen für ein vorhanden gewesenes offenes stagnierendes Wasser, das bei vollständiger nachträglicher Verlandung zunächst ein Sumpf, dann ein Moor wurde, falls nicht das Wasser schon vorher durch organisches Sediment in seiner durch die Sapropelbildung eingeleiteten Verlandung zugedeckt wurde.

Nach chemischen Analysen, die HARZ von zwei Proben Dysodil mitteilt, fanden sich auf aschenfreie Substanz berechnet in der einen Probe

63,39% C, 12,51% H, 0,62% N, 1,96% S, 19,13% O, 2,39% H₂O,
in der anderen

36,04% C, 3,98% H, 0,72% N, 53,26% O.

Es ist gegenüber den fossilen Humusbildungen der verhältnismäßig geringe Kohlenstoff- und der verhältnismäßig hohe Wasserstoffgehalt bemerkenswert. Die mikroskopische Untersuchung zeigt die Zusammensetzung des Dysodils aus einer amorphen Grundsubstanz, zweitens aus Beimengungen, die auf eine autochthone Sedimentierung von echten Wasserorganismen und ihren Resten hinweisen, und drittens aus anderen Resten, die durch Drift aus der Nähe hineingeraten sind; so finden sich einerseits Algen, von denen schon die *Kieselalgen* erwähnt wurden, von anderen Algen sei die Gattung *Palnella* genannt, andererseits finden sich Pollenkörner von Landpflanzen, die in das Wasser geflogen gelegentlich in sehr großen Massen (aus „Pollenwasserblüte“ [vergl. hinten] hervorgegangen) auftreten usw., kurz Bestandteile, wie sie im rezenten Sapropel charakteristisch sind. Es fehlen auch nicht Reste und Abdrücke von *Insekten*, *Crustaceen*, *Fischen*, usw. und von Laubblättern und Holzstücken, von denen die beiden letzteren in das ursprüngliche Wasser hineingefallene Teile sind, welche also zu den Driftbestandteilen gehören. Dann ist noch hervorzuheben — außer der von den Organismen stammenden Asche, oft großenteils ihren Skeletteilen entstammend — ein mehr oder minder großer Gehalt von Calciumkarbonat, Ton und Quarzsand, die bei überwiegendem Vorhandensein zu bituminösen Kalken oder Tonen führen. Der CaCO₃-Gehalt ist meist auf organogene Tätigkeit zurückzuführen.

Ein Beispiel von Saprodil-Gestein hat BERTRAND (1898) untersucht in dem oligocänen „schiste de la gorge du Bois d'Asson“. Dieser Kaustobiolith enthält 62,79% anorganisches Material (Ton usw.), 3,52% Wasser und 33,69% organische Substanz. Diese zeigt sich unter dem

Mikroskop bestehend aus einer reichlich vorhandenen amorphen Grundsubstanz, die eingebettet enthält tierische Reste, unter diesen auch *Spongillen*-Nadeln, von höheren Pflanzen sehr wenige unbestimmbare Partikelchen, ziemlich zahlreiche *Algen*, unter diesen viele *Diatomaceen*, und endlich Pollen und Sporen. — Ein der Kreideformation angehöriger Sapropelit ist der ebenfalls von BERTRAND (1898) mikroskopisch untersuchte Kaustobiolith von Ceara (Brasilien) mit 40,45 % anorganischen Bestandteilen (Ton, Kalk usw.), 1,43 % Wasser und 58,12 % organischen Materials. Die reichlich vorhandene amorphe Grundsubstanz enthält viele *Cypris*-ähnliche *Ostracoden*-Schalen, unbestimmbare Pflanzenpartikel, Pollen-Tetraden (wie diejenigen von *Ericaceen*), sehr selten Sporen und äußerst selten Algen. — Über palaeozoische Sapropelite wurde schon im vorigen Kapitel (p. 58—59) näheres mitgeteilt.

Wie die entsprechenden rezenten, kaeno- und mesozoischen Sapropelite, so haben — wie gesagt — auch die palaeozoischen — wegen ihrer technischen Wichtigkeit — mannigfache Namen erhalten. Die wichtigsten derselben nebst Erläuterungen gebe ich alphabetisch in der folgenden Liste. Es sei nochmals auf die Ähnlichkeit, ja zum Teil vollständige Übereinstimmung der Bezeichnungen mit solchen, die auch für rezente Sapropelite Anwendung gefunden haben, hingewiesen, Namen, die aber von Autoren und Praktikern diesen Kaustobiolithen nicht mit Bewußtsein übereinstimmend gegeben worden sind, sondern — was für uns viel interessanter ist — die sich von selbst ergeben haben, veranlaßt durch die übereinstimmenden Merkmale der heutigen und der fossilen Kaustobiolithe, trotzdem die Zustände als Saprokoll, Saprodil und Sapanthrakon in gewisser Hinsicht verschiedene sind. In den folgend genannten Sapropeliten ist die organische Substanz im Sapanthrakonzustande vorhanden.

Als Algen-Kohle (*charbon d'algues* bei BERTRAND und RENAULT, englisch *algal coal*) wurde derjenige Sapropelit bezeichnet, dessen mikroskopisches Bild auffallend und massenhaft das Vorhandensein von Algen aufweist (siehe unter Bogheadkohle und Kerosinschiefer). Es ist festzuhalten, daß diese Algenkohle eine ganz andere ist als die, die z. B. von MOHR (vergl. vorn p. 12) unkritisch angenommen wurde.

Bathvillit ist eine von einer schottischen Örtlichkeit abgeleitete Bezeichnung für ein Sapanthrakongestein.

Bituminit ist eine Generalbezeichnung für besonders bitumenhaltige Gesteine, d. h. fossile Sapropelite.

Bituminöser Schiefer (französisch: *schiste bitumineux*, englisch: *bituminous shale*). Die „bituminösen Schiefer“ sind Übergangsbildungen von anorganischen (namentlich tonigen) Sedimentär-gesteinen zu Sapanthrakon.

Blätterkohle heißen hier und da die Sapanthrakone z. B. auch die „Plattelkohle“ (s. p. 73) von Pilsen aus demselben Grunde wie beim Saprodil (p. 67).

Boghead, Boghead-Cannel, Boghead-Kohle, Boghead-Mineral — benannt nach einer schottischen Örtlichkeit Boghead — wird gewöhnlich ein verhältnismäßig aschenreiches Sapanthrakongestein genannt; natürlich handelt es sich wesentlich um sekundäre Asche. Wenn auch stets daran zu denken ist, daß ein Aschengehalt als unverbrennlicher Überrest der Pflanzen und Tiere sich durch die fortschreitende Zersetzung wesentlich anreichern kann, so handelt es sich doch bei den Bogheadkohlen in den mineralischen Zutaten nicht ausschließlich um Asche, sondern um reichlichere Ton- und Kieselsedimente, die während der Bildung hinzugeführt wurden. Ist die mineralische Beimengung noch stärker, so würden wir ein brandschieferiges und endlich einen nur noch dunkel gefärbten Schieferton erhalten, womit allerdings selbstverständlich nicht gemeint ist, daß nun jeder durch organische Substanz dunkel gefärbte Schieferton zu den Sapropeliten gehört. Denn Schieferton hat seine Schwarzfärbung meist durch die Sumpfpflanzen, die in ihm wuchsen, erhalten, durch Infiltration und Untermengung mit gelösten Humussubstanzen usw. — Die als Boghead bezeichneten Kaustobiolithe sind daher gewöhnlich minderwertiger als die reinere Cannelkohle (siehe dort).

Bogheadcannelkohle ist ein zuweilen verwendeter Ausdruck, der wie Boghead-Cannel sagen will, daß die Boghead- und Cannelkohlen technisch zusammengehören.

Brandschiefer (englisch Fireclay). Über diesen ist dieselbe Bemerkung zu machen wie über den „bituminösen Schiefer“. Siehe auch unter Boghead, der oftmals als Brandschiefer geht, namentlich dann, wenn eine technische Verwertung nicht statthat.

Braune Cannelkohle (englisch Brown Cannel) wurde von W. B. CLARKE (1866) der Kerosinschiefer Australiens und der Torbanit im Gegensatz zu der Schwarzen Cannelkohle (Black Cannel) genannt. Gewisse Cannelkohlen, z. B. diejenige von Rußland, erinnern übrigens noch weit mehr durch ausgesprochene braune Farbe an luftgetrocknenen Faulschlamm als der Kerosinschiefer und zwar derartig, daß bei bloßer makroskopischer Betrachtung geradezu eine Verwechslung mit Faulschlamm möglich wäre (vergl. p. 55). — Den Braunen Ölschiefer (Brown Oilshale) von Boxburn hat BERTRAND (1898 p. 13 ff.) untersucht, weshalb wir ihn wiederum hier hinsichtlich des mikroskopischen Inhalts näher betrachten. Dieser permokarbone Sapropelit enthält 67,18 % anorganische Sedimente, 2,89 % Wasser und 29,93 % organisches Material, und zwar außer der amorphen Grundsubstanz wenig Algen-Wasserblüte, wenig Pollen und Sporen, andere nicht näher bestimmbare

Pflanzenpartikeln wie Cuticulae, und wenige Ganoidschuppen. Die figurierten Bestandteile treten also sehr zurück, woraus wir schließen dürfen, daß wenig Gelegenheit vorhanden gewesen ist, verhältnismäßig frisches Material zur Einbettung zu bringen.

Brettelkohle siehe Plattelkohle.

Cannel- (Kännel-) Kohle (vergl. p. 52) heißen gewöhnlich die sapanthronreicheren palaeozoischen Sapropelite im Gegensatz zu den Bogheadkohlen.

Candelit (GÜMBEL 1883 p. 161) = Kännel-Kohle.

Charbons gélosiques nennt BERTRAND die mehr oder minder Sapanthron enthaltenden Sapropelite, die im mikroskopischen Bilde wie fossile Gallerte aussehen; Ch. humiques sind nach ihm die genannten Sapropelite, weil er die Grundsubstanz für aus Schwarzwasser niedergeschlagene lösliche Humusstoffe hält (vergl. p. 14). Ch. de purins nennt er diejenigen Sapropelite, deren figurierte Teile reichlich Exkreme (Koprolithen) von Tieren und Tierreste sind.

Cherry coal (Kirschkohle) ist ein schottischer Ausdruck für einen Cannel oder Boghead.

Fackelkohle. Erklärung unter Kännelkohle.

Faulkohle, abgekürzt für Faulschlammkohle, ist jede Kohle, die wesentlich aus Faulschlamm hervorgegangen ist.

Fischkohle, bituminöser Fischschiefer u. dergl. sind Sapropelite, angeblich aus Fischen gebildet. Natürlich beweist das Vorkommen von Fischresten in Sapropeliten nicht, daß diese so gut wie ausschließlich das kaustobiolithische Material geliefert haben (vergl. p. 59—61).

Gaskohle (englisch Gas Coal) heißen alle „fetten“, d. h. die bei der Destillation Gas, Öle usw. abgebenden Kohlen, daher sind die fossilen Sapropelite Gaskohlen katexochen. Wenn sie deutlich geschiefert sind oder reichlicher Sedimente enthalten, spricht man auch von Gasschiefer. So wird z. B. auch die Plattelkohle von Nürschan (siehe dort) genannt.

Grahamit von West-Virginien ist ein cannelkohlenartiger Sapropelit.

Hartleyit, nach dem Ort Hartley auf Tasmanien, ist ein Synonym für Kerosinschiefer.

Kännelkohle = Cannelkohle.

Katzenstein heißt nach HORNUNG (1905 p. 554) ein Stinkkalk in der Stolberger Gegend (Harz), weil der Geruch des in ihm enthaltenen Bitumens an den von Katzenharn erinnert.

Kerosinschiefer (englisch Kerosene shale) ist eine in Neu-Süd-Wales (Australien) gebräuchliche Bezeichnung für den dortigen palaeozoischen, ziemlich stark sapanthronhaltigen Sapropelit. J. R. M. ROBERTSON sagt (1892) Kerosene Coal (Kerosinkohle). Kerosin ist bekanntlich ein Synonym für raffiniertes Petroleum (Brennpetroleum), das namentlich durch Destillation aus dem Kerosinschiefer (vor der

großen Petroleumgewinnung) aus Quellen) dargestellt wurde. Der Kerosinschiefer ist so algenreich wie der Boghead Autuns (vergl. p. 56 unsere Figuren 26, 27). Der Kerosinschiefer, von dem unsere Fig. 27 stammt, enthielt nach BERTRAND (1896) rund $\frac{1}{10}$ anorganisches Material, das übrige war Bitumen usw., kurz organische Substanz. Es fanden sich in der organischen amorphen Grundsubstanz außer unbestimmbaren Partikeln von Pflanzen und Tieren und vielen Algen auch einige Pollenkörner und Sporen. Kerosinschiefer von anderen Örtlichkeiten enthält 30—35 % Asche usw.

Kerzenkohle = Känelkohle.

Kolm (schwedisch), ein mit Boghead verwandter Sapropelit von Rännum nördlich von Billingen in Schweden.

Lucullan ist Stinkkalk.

Ölkohle bzw. Ölschiefer (englisch Oil shale) sind bei der Destillation Öl liefernde Sapanthrakone bzw. Sapropelitschiefer, z. B. wird Lias α als Ölschiefer bezeichnet, ebenso Kerosinschiefer usw.

Papageikohle (englisch Parrot Coal) ist eine schottische Bezeichnung, die sich auf das knackende Geräusch bezieht, das durch explosionsartiges Zerspringen des Torbanits zustande kommt, wenn er ins Feuer getan wird.

Paraffinschiefer (Paraffin shale von Schottland) ist ein technisch wesentlich auf Paraffin verarbeiteter Sapropelit.

Petroleum-Cannelkohle (englisch Petroleum Oil Cannel Coal. Mit diesem Pleonasmus von CARNE 1903 p. 39 angegeben) ist ein Ausdruck, der oft von JOHN MACKENZIE 1887 usw. gebraucht wurde.

Plattel-Kohle (Brettelkohle) heißt der sapanthrakonreiche Sapropelit des Permo-Carbons von Nürschan usw. bei Pilsen in Böhmen, der bei seiner auffallenden Schieferung leicht in Platten oder Brettchen zerfällt wie viele rezente Saprokole.

Pyroschist (englisch) ist ein Ausdruck, den STERRY HUNT (1891) an Stelle der Bezeichnung bituminöser Schiefer (bituminous shale) vorschlägt, sofern sie erst durch die bei der Destillation wirkende Hitze bituminös werden.

Schwarze Cannelkohle (englisch Black Cannel) siehe Braune Cannelkohle.

Schieferige Cannelkohle (englisch shaly Cannel) wie die Plattelkohle schiefernd.

Splint- (oder Splent-) coal ist ein schottischer Ausdruck für ein hartes, blättriges Sapanthrakongesein, wie die Plattelkohle. Der Name ist der Eigenschaft der Kohle entnommen, in biegsame Brettchen oder Blätter zu splintern (splinting oder splenting), daher auch der deutsche Name Splitterkohle.

Stinkstein, wie Stinkkalk usw., heißen alle Sapropelite, die beim Anschlagen auffallend bituminös riechen.

Torbanit ist abgeleitet von der schottischen Örtlichkeit Torbanehill (daher auch Torbanehill Mineral). Es handelt sich um eine Cannelkohle, die nach BERTRANDS Untersuchung (1892 und 1897) an organischem Material unter dem Mikroskop in der üblichen amorphen Grundmasse zu erkennen gibt: nicht gar zu viele Algen („*Pila*“), Sporen und viele Pollen sowie unbestimmbare Pflanzenpartikel. Schon DAVID hat (1889) die Algen erkannt.

Wachsschiefer ist eine gelegentlich hier und da auftauchende Bezeichnung, z. B. für Kerosinschiefer.

Wollongongite. Nach CARNE 1903 p. 39 hätte SILLIMAN 1869 damit den Kerosinschiefer von Hartley bezeichnet in der irrtümlichen Annahme, daß er von Wollongong in N. S. Wales stamme.

Besondere Sapropelite mit reicheren akaustobiolithischen und anorganisch-mineralischen Zutaten

Von Sapropeliten mit so vielen anorganisch-mineralischen oder akaustobiolithischen Zutaten, daß die Gesteine dadurch einen besonderen Charakter erhalten, sind außer schon vorher genannten in erster Linie die folgenden noch besonders hervorzuheben.

Sapropelit-Kalke.

Bei der leichten Umkristallisierbarkeit und überhaupt molekularen Beweglichkeit des Kalkes sind figurierte Bestandteile oft zerstört und daher nicht mehr wahrnehmbar; sind aber die in Rede stehenden Teile groß, so können sie lange bzw. „dauernd“ erhalten bleiben wie Molluskenschalen, die oft solche Sapropelite dicht spicken. Große *Foraniniferen* wie *Fusulinen* des Palaeozoikums (Fig. 31), *Nummuliten* des Tertiärs, die Kalkskelette von Algen wie von *Phacotus* im Miocän-Kalk von Oeningen oder *Characcen*-Thallusteile und *Characcen*-Sporangien machen ebenfalls gelegentlich die Hauptmasse des Gesteins aus.

Die vom Palaeozoikum ab vorkommenden bituminösen Mergelschiefer sind wesentlich Kalk-Ton-Sapropelite. Der „bituminöse Mergelschiefer“ (Kupferschiefer) des Zechsteins von Mansfeld enthält rund 8—20% Bitumen.

Die oben erwähnte „Empfindlichkeit“ des Kalkes mag eine eigentümliche Erscheinung mit sich bringen, die sowohl an Saprokoll- als auch an Saprodit- und Sapanthron-Kalken zuweilen zu beobachten ist, nämlich die Erscheinung, daß sich Kalk und organische Substanz unter Umständen, die noch näher zu untersuchen sind, trennen. Man findet dann

gewissermaßen wie marmoriert oder mosaikartig fast reinen, nur schwach bituminösen Kalk oder bei jüngeren Sapropeliten auch pulverigen Kalk getrennt von dunkleren Teilen reich an kaustobiolitischer Substanz. Unter andern ist der Saprodil-Kalk von Melilli in Sizilien diesbezüglich beachtenswert. Der Kalk ist hier pulverförmig. Eventuell sind in der geschilderten Weise mosaikartige Asphaltkalke auch hierher zu rechnen.

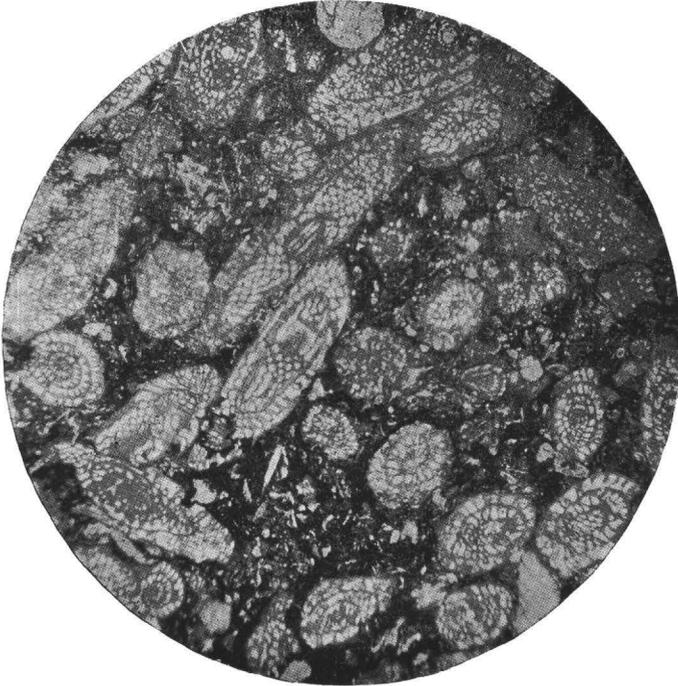


Fig. 31. Schliff durch Fusulinen-Faulkalk; die schwarze Grundsubstanz ist zum großen Teil Asphalt. Oberkarbon von Spitzbergen. (Den Schliff verdanke ich Herrn Dr. VON STAFF.)

Siliciumdioxyd.

Von mehr oder minder den Sapropeliten angenäherten, wesentlich oder hervorragend Kieselsäure enthaltenden Gesteinen sei auf den eocänen Menilit-Schiefer aufmerksam gemacht von Menil-Montant bei Paris und den oligocänen Menilit führenden Mergelschiefer Galiziens, der bei seinem Bitumengehalt das Muttergestein des dortigen Petrols sein könnte. Bemerkenswert sind in diesen Schieferen Opalknollen aus „Menilit“ (Leberopal) ähnlich den Feuersteinen der Schreibkreide, entstanden aus der Auflösung und der knolligen Wiederausscheidung von Kieselsäure aus den Panzern von *Diatomeen* usw., deren mehr oder minder korrodierte Schalen sich auch noch z. T. bei Menil-Montant im

Gestein finden. Opal ist bekanntlich wasserhaltige Kieselsäure ($\text{SiO}_2 + \text{aq}$), aus der auch die Kieselpanzer der Organismen (*Diatomeen* und *Radio-larien*) und die *Spongillen*-Nadeln bestehen, Bestandteile, die man meist noch figuriert in diesen Mergelschiefern konstatieren kann. Gewöhnlich aber sind Diatomeen in älteren Mergelschiefern nicht zu finden, die ältesten bekannten Reste, die vielleicht *Diatomeen*-Schalen sein könnten (wenn nicht solche von *Peridinceen*, die keinen Kieselpanzer haben), stammen aus einem stark bituminösen Mergelschiefer des Jura (Posidonienschiefer). Weil verhältnismäßig leicht löslich, sind Kieselpanzer der Diatomeen — wenn sie überhaupt vorhanden waren — um so weniger figuriert erhalten zu erwarten, je älter der betreffende Horizont ist, in welchem man sie sucht. Wegen ihrer Zartheit und großen Oberfläche lösen sie sich noch besonders leicht auf; aus der Lösung scheidet sich dann unter geeigneten Umständen das Kieselsäurehydrat in Form von Knollen wieder ab als Feuerstein, Menilit u. dergl. Mergelschiefer, die mehr oder minder ausgelaugt und dadurch porös geworden sind (daher Klebschiefer, HAUERS Smilno- oder Amphisy lenschiefer), führen solche Konkretionen besonders reichlich, da hier die Wasserbewegung und daher Bedingung zur Lösung von Kieselskeletten hervorragend geboten war. Wo die Wasserbewegung fehlte oder sehr viel mehr zurücktrat, bleiben die Schalen natürlich sehr viel länger figuriert erkennbar wie z. B. im oligocänen „Polierschiefer“ von Bilin in Böhmen, der bekanntlich seinen Namen daher führt, daß die Schärfe der kleinen Kieselschalen den Biolith zum Poliermittel geeignet macht. Es gibt demnach natürlich alle Übergänge bis zu Gesteinen, in denen alle oder so gut wie alle Schalen gelöst sind und ihre Substanz amorph wieder niedergeschlagen ist. Die parallele Anordnung der Feuersteine in der Kreide, die freilich zu den Akaustobiolithen gehört, möchte bei der allmählichen Hebung der Kreide aus dem Wasser auf den jeweiligen Wasserstand hinweisen, denn eine Auflösung und ein Wiederniederschlagen ist nur über dem Wasserspiegel anzunehmen; der Niederschlag erfolgte dann jedesmal unmittelbar über dem jeweiligen Grundwasserspiegel. Die Menilit führenden Mergelschiefer gleichen in ihrer mineralogischen Zusammensetzung und hinsichtlich ihres Gehalts an figurierten Bestandteilen den bei uns rezent und subfossil sehr häufigen tonhaltigen Diatomeen-Kalk-Sapropelen resp. Diatomeen-Sapropel-Kalken (hierher gehört z. B. auch die sogenannte Berliner Infusorien-[Diatomeen-]Erde). Bedingungen, die tonig-feinsandige Sedimente schaffen in einem Wasser, das Organismen mit Kalkinkrustationen und Kalk- und Kieselskeletten eine reiche Entwicklung gewährt, sind ja sehr häufig.

Eisen.

Auch hinsichtlich der Eisenverbindungen, die einerseits in den Kohlenlagern (des Carbons, Tertiärs usw.) oder in Verbindung mit ihnen (in den Bergmitteln) auftreten und andererseits in oder in der Nähe rezenter Sapropel- und Humusbildungen häufig sind, besteht zwischen den Steinkohlen- und den Torflagern eine Parallele. Besonders wichtig sind die Toneisensteine (tonige Sphaerosiderite, Sphaerosiderit-Septarien, Pelosiderite) und der zwar ebenfalls häufige aber gegenüber dem Toneisenstein zurücktretende Pyrit (Schwefelkies).

Die Toneisensteine (im wesentlichen Ferrokarbonat mit Ton) sind direkt vergleichbar den Ferrokarbonaten der Flachmoore, ihre ebenfalls meist tonhaltigen Limonite würden durch die Fäulnisprozesse ebenfalls zu Ferrokarbonaten werden. Fast in jedem Wasser ist lösliche Tonerde wenn auch nur in Spuren vorhanden. Die Bedingungen des Absatzes sind dieselben wie für die gelösten Eisenverbindungen, sodaß sie sich zusammen als Toneisenminerale absetzen.

Die Toneisensteine der Steinkohlenlager enthalten zuweilen intuskrustierte Reste höherer Pflanzen, deren anatomischer Bau daher untersuchbar ist. Da die Pflanzenreste unverdrückt sind, müssen die Toneisensteine in der Tat „fast unmittelbar nach der Fertigstellung der Ablagerung der Schichtmassen“ entstanden sein (STUR 1885 p. 635), oder im Vergleich mit den heutigen Mooren können wir daraus schließen, daß die Eisenbildung zur Zeit der Torfbildung selbst stattgefunden hat.

STUR nennt die in Rede stehenden Bildungen, sofern sie in Kohlenlagern stecken, direkt Torfsphaerosiderite oder Torfrundmassen. Treten die Toneisensteine (wie gewöhnlich) im Hangenden oder Liegenden der Kohlenlager, in den Bergmitteln auf, so haben wir wohl meistens reine Konkretionen vor uns, um Pflanzenreste als Zentrum, die sich nach dem Auseinanderschlagen dann noch oft in den Konkretionen vorfinden. Zuweilen treten die Toneisensteine zu Lagen dicht zusammen und schließlich können Toneisenstein-Lager entstehen. In manchen Fällen (Ruhrevier, Gr.-Britannien usw.) treten „Kohleneisenstein“- (Spatiseisenstein-, FeCO_3 -) Lager (Blackband der Engländer) auf, die Eisensapropelite sind. Im großen sind es ja sapropelbildende Organismen, die in Mooren Eisenverbindungen niederschlagen; sind viele solche Organismen vorhanden oder geschieht der Eisenniederschlag in einem Sapropel, so wird ein Eisensapropelit daraus. So treten denn die Blackbands wie die anderen Sapropelite (Cannelkohle usw.) ebenfalls gern unmittelbar unter Steinkohlenlagern auf¹).

¹) P. E. MÜLLER-Kopenhagen deutete (1887 p. 159) nur vorsichtig auf die Möglichkeit des Vorkommens von Eisenortstein im Carbon hin. E. RAMANN, der wohl

Das Vorhandensein von Pyrit in den Kohlenlagern und Saproeliten, überhaupt in allen Gesteinen, die von Organismen herstammende Kohlenstoffverbindungen enthalten, erklärt sich aus dem Vorhandensein von Schwefel in den Organismen, der sich bei Reduktionsprozessen mit dem Eisen verbindet. Besonders viel Schwefel ist durch die Tierwelt in den Saproeliten geliefert, sodaß gerade diese oft durch so große Schwefelkiesquantitäten ausgezeichnet sind, daß sie deshalb als „Alaunschiefer“ (Vitriolschiefer) oder bei noch unverfestigter Beschaffenheit als „Alaunton“ (Vitriolton) technische Verwendung finden können. Auch müssen, wenn schwefelsaure Salze des Meereswassers mit Saproeliten in Verbindung treten, leicht Alaunschiefer oder Alauntone entstehen. Diese sind ein meist noch bituminöser, stark schwefelkieshaltiger Mergelschiefer oder -ton, also Saproelite mit hohem Schwefeleisengehalt, wie solche heute besonders an ruhigen Meeresküsten und in Buchten leicht entstehen durch den Einfluß der S-Salze des Meerwassers (vergl. in meiner Arbeit „Die rezenten Kaustobiolithen“, Bd. I, p. 208—210). Bekanntlich führt das Gestein im fossilen Zustande seinen Namen, weil es nach seiner Verwitterung oder Röstung Alaun liefert, indem zunächst durch Oxydation des Kieses H_2SO_4 (Vitriol) entsteht, sodann Sulfate auch des Aluminiums (Alaun).

Gagat.

Zum Schluß dieses Abschnittes über die fossilen Saproelite sei noch auf einen Saproelit hingewiesen, der uns gleichzeitig Gelegenheit gibt, das Wesen des Gagats (von dem Flusse Gages in Lykien, wo sich im Altertum das Mineral als Geschiebe im Alluvium gefunden hatte) zu besprechen; es ist das der marine, tonreiche, schwarzblaue Posidonien-schiefer des oberen Lias; er kann soviel Bitumen enthalten, daß er in Gomaringen und in Reutlingen in Württemberg von Zementfabriken als Brennmaterial benutzt wird, und die sogenannte Kohle von Geilsheim, die abgebaut wird, ist bituminöser Schiefer mit sehr schwachen glanzkohligen Partikeln wohl wesentlich von eingeschwemmten Landpflanzenarten.

Die große zusammenhängende Verbreitung des Posidonien-schiefers in Württemberg u. a. a. Orten würde auch ohne die Tatsache, daß er sehr viele Meerestierreste enthält, für eine Meeresbildung sprechen. Es handelte sich offenbar um eine Flachsee, vielleicht um eine Art Wattenmeer, in dem die Sedimentation erfolgte, die die Reste der in dem Wasser an Ort und Stelle lebenden Organismen aufnahm und

durch die MÜLLERSche Anmerkung angeregt wurde, hat dann das Vorkommen von Ortstein im Carbon behauptet (1896). Wirklicher Eisenortstein ist aber aus dem Carbon nicht bekannt.

außerdem sehr viel durch die Fluten herbeigedriftetes Material. Die Tatsache, „daß meist die untere Seite der Petrefakten sich besser erhalten hat als die obere“ (TH. ENGEL 1896 p. 182), erinnert daran, daß Kalkschalen und Skelette in frischem, rezentem, zu Kaustobiolith werdendem Material gern korrodiert werden, und bei der starken Volumenreduktion, die die Sapropelite und Humusgesteine erleiden, die figurierten organischen Teile verdrückt werden. So ist dies dann auch der Fall mit den Fossilien im Posidonienschiefer (Lias ϵ) u. a., z. B. auch mit denjenigen im „Ölschiefer“ (Lias α) unter dem Posidonienschiefer. Makroskopisch sichtbar sind in dem Posidonienschiefer vorhanden zahlreiche Tierreste: *Seeigel*, *Crinoideen* (*Pentacrinus*, der, da er nicht in dem beweglichen Schlamm aufgewachsen sein konnte, gewiß den Floßhölzern nach abwärts anhing), *Brachiopoden*, *Lamellibranchiaten* (unter diesen *Posidonomya Bronni*, die dem Schiefer den Namen gegeben hat), *Gastropoden*, *Würmer*, *Cephalopoden*, *Crustaceen*, *Fische* und *Reptilien* (z. B. *Ichthyosaurier*); von Landbewohnern sind *Insekten* (*Coleopteren*) und *Reptilien* (*Pterosaurier*) sowie auch hineingedriftete Pflanzen (*Cycadales* und *Coniferen*) vorhanden. Unter den Driftpflanzenresten sind „Floßhölzer“ für uns besonders bemerkenswert, weil sie in Gagat umgewandelt sind. Die große Härte des Gagats, seine schöne Schwärze und Politurfähigkeit haben ihn bekanntlich zu einem beliebten Schmuckstein gemacht. Die berühmteste, freilich jetzt erschöpfte Fundstelle von Gagat, diejenige von Whitby in England, gehört ebenfalls dem Posidonienschiefer an; er kommt aber auch in anderen geologischen Formationen vor. Geraten in einen Sapropelit Hölzer wie in den Schlamm des Posidonienschiefers, so wird mehr oder weniger vollständig Gagat daraus. Man findet im Posidonienschiefer Übergänge von dem ganz homogenen Gagat zu Holzresten, die als solche sogar schon makroskopisch sofort zu erkennen sind. GÜMBEL hat (1883 p. 157–159) die Holznatur nachgewiesen; es handelt sich um Holz vom *Gymnospermen*-Typus, wie u. a. auch SEWARD (1904) bestätigt hat. BOWER (nach SEWARD) nahm an, daß das Gagatholz durch Destillate aus der Umgebung imprägniert sei; das Gestein, in welchem Gagat vorkommt, ist in der Tat, wie gesagt, stets sehr bitumenreich, wie denn auch das Vorkommen von Gagat in Gemeinschaft mit primär Petroleum führenden Schichten längst bekannt ist (s. HÖFER 1888 p. 2).

Mikroskopisch hat ROTHPLETZ (1896 p. 905 ff.) im Posidonienschiefer früher für Tangfossilien gehaltene und in der Tat äußerlich an *Fucus* erinnernde Bildungen („*Phymatoderma*“), die der genannte Autor für *Spongien* hält, untersucht und bei dieser Gelegenheit Objekte gefunden, die wohl Sponginfasern von *Hornschwämmen* sind und „verkalkte Spongiennadeln“, ferner ergaben sich *Foraminiferen*-Gehäuse, *Coccolithen* (Kalkscheibchen, die zu Algenskeletten gehören) und Orga-

nismenschalen („*Stephanopyxis* subgenus *Pyxidicula*“), die der Autor für Diatomeen hält (vergl. jedoch p. 76).

Der Posidonienschiefer hat nach alledem seinen bituminösen Charakter gewiß zum größten Teile von den zahllosen tierischen Resten, aber gewiß auch von Algen, die er eingebettet enthält. Ein bestimmtes Lager des Schiefers nennt QUENSTEDT die „Kloake“, weil hier besonders viele tierische Reste, besonders von Wirbeltieren, angehäuft sind, die aber nur selten noch zusammenhängend auftreten. An den Ausdruck QUENSTEDT's erinnert übrigens derjenige BERTRANDS: charbon de purins (vergl. p. 72).

W. GOTHAN (1906 und 1908) hat dann nachgewiesen, daß das Sapropel in den Muttergesteinen des Gagats in der Tat — wenn auch in anderem Sinne als BOWER mit dem Bitumen annahm — für die Gagatentstehung wesentlich ist. Es gibt nämlich rezente oder auch subfossile Ablagerungen, die sich mit den fossilen in Parallele setzen lassen. Die sich in solchen Ablagerungen findenden Driftholzstücke, die sich sehr lange Zeiträume hindurch in unversteintem Zustand, selbst bei starker Verrottung, ohne zusammenzusinken, erhalten, nehmen, wenn das umgebende Medium das Wasser verliert, unter außerordentlich starker Schrumpfung, die zum fast völligen Verlust der anatomischen Struktur führen kann, eine sehr feste homogene Beschaffenheit an, wobei eigentümliche Zickzackstrukturen auftreten, ähnlich wie sie der Gagat zeigt. Befinden sich in den Gesteinsmedien Mineralbestandteile gelöst, so können durch diese die Hölzer versteint (intuskrustiert) werden, andernfalls sinken sie zusammen und nehmen mit der Zeit homogen-kohlige Beschaffenheit an. Ist nun das Gesteinsmedium ein Sapropelit, so nimmt das Holz auch Sapropelbestandteile auf, die diesem später einen sehr hohen Bitumengehalt geben; dies ist beim Gagat der Fall, der daher als Holz den Inkohlungsprozeß, wegen seiner Sapropel- bzw. Bitumenumgebung die Bituminierung durchgemacht hat. Die homogen-kohligen Holzstücke, die man so oft in Ton usw. findet, sind kein Gagat, von dem sie schon physikalisch durch größere Brüchigkeit und Sprödigkeit abweichen.

Es finden sich Gagat und intuskrustierte Hölzer fast stets zusammen, oft an demselben Stück. Eine „Anreicherung“ des Bitumens in Gagatstücken und deren nächster Umgebung im Gestein ist erwiesen durch eine Analyse von Gagat und dem umgebenden Gestein: Gagat enthält 85—95 % Bitumen, stark bituminöser Kalk unmittelbar am Jet 46 %, weniger bituminöser Kalk, diesen einhüllend 25 %, das normale Muttergestein (Jetrock) 5,4 %. Dementsprechend besitzt Gagat einen hohen H-Gehalt, so nach BRUNNER (1879) der Gagat aus dem Lias von Holzmaden 71,0 C, 7,7 H, 23,3 O, Spuren N und S, 0,9—2,9 Asche. Wichtig ist für den Gagatprozeß noch die beim Transport erlittene starke

Verrottung und Erweichung der Holzstücke, in die daher Hartkörper (*Belemniten* usw.) sich hinein- oder abdrücken konnten.

Historisch bemerkenswert ist der schon 1811 von PARKINSON veröffentlichte Satz über den Gagat: „It may be considered as possessing the intermediate place between the purer bituminous matters and coals.“ Man vergleiche mit dem oben Gesagten auch die Angabe von J. E. CARNE, der von Gagatvorkommen im Kerosinschiefer Australiens spricht und sagt (1903 p. 81) „The jet . . . occurs usually replacing or constituting plant stems (*Vertebraria*)“, und *Vertebraria* heißen die Rhizome von *Glossopteris*, von Landpflanzen. Daher denn auch in der Literatur Gagat als eine Varietät von Sapanthrakon (Cannelkohle) angegeben wird; aber das Fehlen eines klaren Prinzips für die Klassifikation der Kaustobiolithe wird auch beim Gagat dadurch wieder ins Licht gerückt, daß er — um ihn irgendwo unterzubringen — von den Autoren gewöhnlich zur Braunkohle gestellt wird und zwar als Synonym zu „Pechkohle“. Synonyme für Gagat sind sonst: englisch (auch im Deutschen oft so genannt) Jet, französisch jais und jayet, schwarzer Bernstein (lateinisch succinum nigrum bei PARKINSON 1811). GÜMBEL (1883 p. 156—157) schlägt als wissenschaftlich-internationalen Terminus Gagatit vor.

Petroleum, ein abgeleiteter Sapropelit

Petroleum (oleum petrae und bitumen fluidum der mittelalterlichen Gelehrten), das bekannte Gemisch flüssiger Kohlenwasserstoffe, führt verschiedene Namen, zu deutsch bekanntlich Steinöl, auch Bergöl, sonst auch Naphtha vom medischen nafata = herausschwitzen, Rangunöl in Birma; Quirinusöl (nach dem heiligen QUIRINUS) heißt es am Kloster am Tegernsee, wo es als Quelle ausfließt und dort medizinische Verwendung fand. Schon bei HERODOT kommt es vor und zwar unter dem Namen Pissasphaltum.

Daß man Petrolea auch auf anorganischem Wege darstellen kann, hat zu Theorien Veranlassung gegeben, die die Entstehung der Öle ohne Zuhilfenahme der organischen Reste zu erklären versuchten. BERTHELOT (1866) meinte, daß es ganz unorganischen Ursprungs sei, indem es im Erdinnern durch gegenseitige Einwirkung bestimmter Verbindungen entstünde. MENDELEJEV (1877) nimmt ein glutflüssiges Erdinneres mit Kohlenstoffverbindungen von Metallen, besonders von Eisen, an, die mit Wasser zusammentretend Metalloxyde und Kohlenwasserstoffe ergeben usw. So sei daran erinnert, daß glühendes Roheisen, das ja C enthält, bei Zusammentreffen mit H₂O, ferner Kalziumkarbid mit H₂O ohne weiteres und Roheisen mit Salzsäure übergossen Kohlenwasserstoffe ergeben. Die von MENDELEJEV vertretene Ansicht ist ursprünglich von A. v. HUMBOLDT angeregt worden. Schon die

Elementaranalyse der Petrolea widerspricht dieser Hypothese: sie enthalten neben C und H auch S und N.

Solche Hypothesen sind so lange beiseite zu schieben, bis nicht nachgewiesen wird, daß die hierbei notwendigen Bedingungen in der Natur im Großen gegeben sind oder gegeben waren. Daß der Harnstoff (seit WÖHLER) auf anorganischem Wege darstellbar ist, hat niemanden zu der Anschauung geleitet, daß nun der Harnstoff auch in der freien Natur so entsteht wie künstlich im Laboratorium, weil wir die natürlichen Bildungsstellen von Harnstoff in den Organismen schon vorher kannten. Mit dem Petroleum ist's freilich anders: hier suchen wir erst nach natürlichen Stellen, die ausreichend sind, die vorhandenen Quantitäten zu erklären. Nun, die Muttergesteine der Petrolea sind tatsächlich in sehr ausreichendem Maße vorhanden: es sind das eben die fossilen Sapropelite, die Faulkohlen (Sapanthrakone) bis zu den Sapropeltonen (den meisten bituminösen Schiefen) und Sapropelkalken (den meisten bituminösen Kalken).

HÖFER und ENGLER haben die tierische Herkunft von Petroleum begründet, sodaß heute — besonders seitdem es C. ENGLER in Karlsruhe 1889 gelungen war, unter Destillation bei höherer Temperatur (Druckdestillation bei 15—20 Atmosphären und einer Temperatur von 350° und darüber) aus tierischem Fett künstliches Petroleum zu erzeugen — bei den Eingeweihten kein Zweifel darüber herrscht, daß das Petroleum aus Resten von Lebewesen entstammt, daß es also organischen Ursprungs ist.

Zur Beschaffung des notwendigen Urmaterials glaubt man nun aber noch vielfach einer Katastrophentheorie zu bedürfen, nach der, durch besondere Umstände veranlaßt, Massengräber von Tieren entstanden sein sollen als Urmaterialien der Petrolea. BERTELS z. B. (1892) — um nur einen anzuführen — meint, Petroleumentstehung sei nur möglich: 1. beim Vorhandensein größerer Massen von Meerestieren, insbesondere von Mollusken, 2. bei einem Festland mit steilen Uferändern, von denen periodisch bei stärkeren Niederschlägen mit reißender Gewalt große Schlammmassen ins Meer geworfen werden konnten, wodurch die Lebewelt begraben wurde.

Die einen Autoren sind mehr für die Herkunft aus dem Pflanzenreich, die anderen — unter ihnen als einer der ersten L. v. BUCH — für diejenige aus dem Tierreich.

Die Theorien, die nun wieder auf Grund solcher und anderer Tatsachen einseitig für die Genesis des Petroleums ausschließlich Tiere oder ausschließlich Pflanzen in Anspruch nehmen, knüpfen ebenfalls nicht hinreichend an die gegebenen Verhältnisse in der Natur an.

Die Wahrheit ist, daß sowohl Tiere wie auch Pflanzen und unter diesen in hervorragender Weise die so stark vertretenen

Ölalgeng Ausgangsmaterialien für Petroleumbildung enthalten, und die Sapropelgesteine sind generell phytogene und zoogene Gesteine: sie sind die Muttergesteine der Petrolea. Die Sapropelbestandteile in den Sapropelgesteinen sind die Urmaterialien der Petrolea, und diese Sapropelbestandteile stammen — daran sei hier ganz besonders erinnert — im wesentlichen von untergegangenen Kleinorganismen.

Es sind alltägliche und ständig zusammenwirkende Umstände, die hinreichende Mengen von Sapropel schaffen, um die Mengen des vorhandenen Petroleums zu erklären, die unter leicht in der Erdrinde gegebenen Umständen als Destillationsprodukt aus dem Sapropel entstehen können. Dr. L. CAR macht mich darauf aufmerksam, daß auch er und zwar bereits 1900 auf die Wichtigkeit des Planktons als Urmaterial des Petrols hingewiesen hat.

Die (Verlegenheits-)Hypothesen, die unbedingt mehr oder minder weitgehende Katastrophen für notwendig halten, um die hinreichende Quantität organischer Massen zu erklären, sind also durchaus zu entbehren: sie verwickeln das Einfache. Denn mehr oder minder stagnierende Wasser, in denen organisches Material zur Ablagerung gelangt ist, sind immer reichlich vorhanden gewesen. Wo gelegentlich durch eine Katastrophe ein massenhaftes Absterben und eine nachherige Einbettung stattfindet von Tieren oder solchen Pflanzen, die wie die Tiere Bituminierungstendenz haben, wird sich natürlich ebenfalls ein Petroleum-Muttergestein bilden können; aber solche Katastrophen sind untergeordnete Erscheinungen, die das Zusammentreffen besonderer Bedingungen erfordern, während die Bedingungen zur Entstehung von Sapropelgesteinen sehr einfache sind, seit der Bildung von Sedimentgesteinen immer gegeben waren und daher auch heute an sehr vielen Punkten der Erde vorhanden sind. Wir haben gesehen, daß es in allen geologischen Formationen Sapropelgesteine in Massen gibt. Die Tatsache, daß es so oft Meeres- oder Brackwassertiere sind, die in den Sapropeliten (Cannel-, Bogheadkohlen, bituminösen Schiefen, bituminösen Kalken usw.) vorkommen oder sie begleiten, weist darauf hin, daß die meisten derselben nur in dem Bereich der Meeresküste entstanden sein können und zwar offenbar an ruhigen Stellen.

Auf Grund des erwähnten ENGLERSchen Experimentes wird man zunächst die C-haltigen Produkte der bituminösen Gesteine auf Tierreste zurückzuführen geneigt sein. Es ist wiederholt ausgesprochen worden, daß auch das Pflanzenreich im Großen Urmaterial zur Petroleumbildung hergegeben habe, und KRÄMER und SPILKER glaubten das auch 1899 nachgewiesen zu haben. Ich habe jedoch 1904 gezeigt, daß das Sapropel des Ahlbecker Seegrundes bei Ludwigshof in Pommern, das diesen „Beweis“ geliefert hat, fälschlich für Diatomeenerde, also für ein wesentlich pflanzliches Gestein angesehen worden ist, während es sich in Wirklich-

keit um ein zoogen-phytogenes Sapropel handelt, bei welchem die tierischen Bestandteile sogar — wie es scheint — überwiegen. Fig. 7—9. Ein Material, das so zusammengesetzt ist, wie dieses, kann natürlich nicht zugrunde gelegt werden, wenn man die pflanzliche Herkunft des natürlichen Petroleums nachweisen will. Auch die sonst in der Literatur vorgebrachten Gründe hierfür genügen nicht.

Der Nachweis, daß nicht allein die tierischen Bestandteile, sondern daß auch die in den Sapropelen vorkommenden echten Wasserpflanzen als Ausgangsbestandteile der Petroleumbildung wesentlich mit in Frage kommen, war also in Wirklichkeit noch zu führen, und ich habe mich daher im Laufe des Sommers 1904 bemüht, geeignetes Material zu beschaffen, das diesen Nachweis ermöglichte. Es mußte mir daran liegen, für diesen Zweck Planktonproben zu erhalten, und da liegt es für den Biontologen nahe, als geeignete Quelle an die allsommerlich auftretende Algen-Wasserblüte zu denken, die verhältnismäßig reines Material liefert. In der Havel spielt *Macrocystis (Polycystis) flos aquae* alljährlich als Wasserblüte eine hervorragende Rolle, indem die Kolonien dieser Alge das Wasser, das sie in erstaunlichen Mengen bewohnen, bei uns namentlich an warmen Augusttagen intensiv grün färben. Von diesem reichlich vorhandenen Material habe ich aufgesammelt und es Herrn Prof. C. ENGLER mit der Bitte gesandt, daraus durch Destillation bei erhöhter Temperatur Petroleum herzustellen (vergl. ENGLER in POTONIÉ 1905 p. 348). Seine Untersuchung ergab, daß in der trockenen Masse der genannten Alge rund 22% (!) Fett vorhanden waren, das bei Druckdestillation Petroleumöle ergab. Er schreibt:

„Eine kleine Menge des „Fettes“ im Glasröhrchen der Druckdestillation unterworfen, ergibt deutlich Petroleumöle. Paraffin wurde zwar bei der kleinen Probe nicht wahrgenommen; dessen Mitanzwesenheit ist aber sehr wahrscheinlich. Hauptprodukt sind „Erdöle“. Dieselbe Wasserblüte (bei 110° getrocknet) ergibt bei der trocknen Destillation direkt reichlich ein teeriges Destillat und Wasser. Es ergibt die trockne Masse von *Macrocystis*:

| | |
|-------|--|
| 22 % | Fett, |
| 60 „ | andere flüchtige Stoffe (Gase, Teer, Wasser usw.), |
| 18 „ | Koksrückstand, |
| 100 % | „ |

Ein rezenter Faulschlamm, gemischt pflanzlicher und tierischer Herkunft, den ich ebenfalls einsandte, „ergab 1. bei der gewöhnlichen trocknen Destillation:

| | |
|---------|--|
| 24,4 % | Öl von teeriger Konsistenz und paraffinhaltig, |
| 13,8 „ | Wasser von stark alkalischer Reaktion, |
| 47,2 „ | Rückstand (davon 20,8 % Asche, Rest Koks), |
| 14,6 „ | Verlust (brennbare Gase), |
| 100,0 % | „ |

2. Bei der Druckdestillation resultieren dünnere petroleumartige Öle neben gut kristallinischem Paraffin und Wasser. 3. Das Produkt der gewöhnlichen trocknen Destillation, nachher einer Druckdestillation unterworfen, wird in schöne Petroleumöle und Paraffin leicht umgewandelt. Dabei tritt neuerdings Wasser auf, ein Beweis dafür, daß das Produkt der gewöhnlichen trocknen Destillation noch sehr sauerstoffreich ist“.

Man beachte, daß die Probe 20,8 % (!) Asche enthielt, so daß die kaustobolithischen Materialien allein berechnet weit über 24,4 % Öl ergeben.

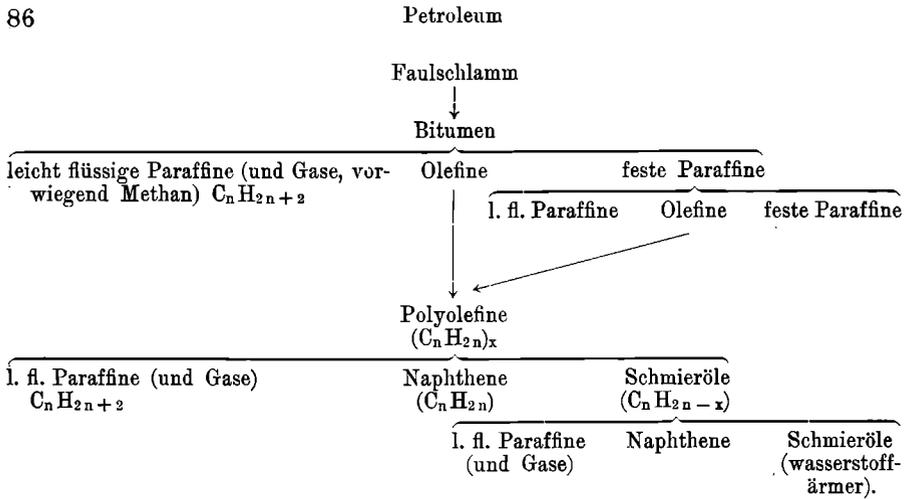
Von der untermiocänen „Seekreide“, das ist in diesem Falle Sapropelkalk, von Roth bei Fladungen (Rhön) z. B. hat C. A. WIESNER (1893) 125 kg der Destillation unterworfen und 1,395 kg Öl erhalten, aus dem Paraffin gewonnen werden kann, das „dieselbe Struktur, wie die aus Bogheadkohlen, Schieferkohlen und Petroleum dargestellten Paraffine“ zeigt.

Auch die reichlich in den Sapropel-Materialien vorhandenen Proteine kommen in Betracht, denn bei ihrer Zersetzung können Fettsäuren entstehen, die z. T. optisch aktiv sind wie die meisten Petrolea (vergl. diesbezüglich besonders C. NEUBERG 1905, 1906 und 1907), im Gegensatz zu denjenigen Fetten und Fettsäuren, die mit verschwindenden Ausnahmen optisch inaktiv sind und daher auch nur ein eben solches Petroleum liefern können.

Auf die Frage, ob die beiden Hauptgruppen der Petrolea (die Naphthen- und die Paraffin-Kohlenwasserstoffe [das pennsylvanische Petrol ist ein paraffinisches Öl, das kaukasische enthält kein Paraffin], vielleicht aus verschiedenen Rohstoffen, aus denen sie entstanden, sich erklären ließen, antwortet ENGLER das Folgende:

„Eingehende Studien hierüber, die ich anstellte, scheinen diese Möglichkeit auszuschließen, denn jedes fette Öl oder Fett, wozu ich auch die wachsartigen Stoffe rechne, läßt die Produkte je nach seiner Verarbeitung variieren, d. h. Pflanzen- oder Tierfette geben unter gleichen Versuchsbedingungen dieselben Petrolöle. Schon a priori ist anzunehmen, daß bei der Gleichartigkeit der Pflanzen- und Tierfette beim Übergang derselben keine so großen Differenzierungen auftreten können, wie sie zwischen Naphthenen und Paraffinölen vorhanden sind. — Das kann nur durch die natürlichen Umwandlungsprozesse selbst bedingt sein (verschiedene Temperatur und Druckverhältnisse!)“

Für den Chemiker sei im folgenden das Schema C. ENGLERS wiedergegeben, wie nach seinen Untersuchungen der Abbau organischer Rohstoffe erfolgt.



Durch die im Verlauf der Zeit fortschreitende Bituminierung werden Sapropelite erreicht, die schon durch direkte Destillation ohne weiteres Petrolea ergeben. Darauf gründet sich ja die namentlich vor Kenntnis der heutigen reichen Petroleumquellen vollzogene Gewinnung von Ölen aus mesozoischen und palaeozoischen Sapropeliten, die daher auch gelegentlich den Namen Ölschiefer (z. B. Ölschiefer des Schwarzen Jura) u. dergl. führen. Es sei bei dieser Gelegenheit an das aus triasischen bituminösen, Fischreste führenden Mergelschiefen („Asphaltschiefen“) namentlich des rätischen Hauptdolomits bei Seefeld in Tirol und bei Wallgau an der Isar zur medizinischen Verwendung gewonnene „Ichthyol“ (das sogen. Fischöl) erinnert. Inwieweit daher bei der Bildung des natürlichen Petrols der Druck an sich mitwirkt oder nur als temperaturerhöhendes Mittel in Betracht kommt, muß hier dahin gestellt bleiben.

Wir können nach dem Vorausgehenden also sagen: Das Petroleum der freien Natur ist ein Destillationsprodukt aus Sapropelgesteinen. Genügende Hitze, meist gesteigert durch den Druck der sich entwickelnden Gase, ist in den genügenden Erdtiefen vorhanden, wohin die Sapropelgesteine durch die gebirgsbildende Tätigkeit der Erde gelangen. Deshalb ist es erklärlich, daß z. B. das so sehr reichlich bei künstlicher Destillation Petroleum liefernde, unter dem Namen Kerosinschiefer bekannte Faulkohlgestein Australiens (namentlich von Neu-Süd-Wales) doch in der freien Natur keine Petroleumquellen geschaffen hat, denn die Kerosinschiefer liegen in ungenügender Tiefe und helfen überdies ein durchweg horizontal geschichtetes Tafelland bilden, das nicht durch Gebirgsbildung besonderen Pressungen ausgesetzt war und auch nur ganz untergeordnet eruptive Gesteine aufweist.

Für die Begründung der Herkunft des Petrols aus dem Sapropel und seine Entstehung hieraus durch Druckdestillation ist vielleicht auch das Vorkommen von Petrol in Konkretionen auszunutzen, die in mehr

oder minder bitumenreichen Sapropeliten zu finden sind. Als Attraktionspunkt bei ihrer Entstehung kann z. B. ein protein- resp. fettreiches Tier gewirkt haben. Nach dem Aufschlagen solcher Knollen, wie sie u. a. aus dem Silur Böhmens bekannt sind, findet man nun in ihnen gar nicht selten Petroleum. J. JAHN (1892 p. 369) weist darauf hin, daß sich für derartige Vorkommen im böhmischen Obersilur-Kalk vermutlich durch eine Diabaseruption ausgeübte Wärmeentwicklung verantwortlich machen läßt. Der Petroleumgehalt mancher Sapropelite z. B. gewisser Schiefer von St. Etienne erklärt sich vielleicht ebenfalls aus Beeinflussung durch vulkanische Gesteine. Aus dem Carbon des Ruhrreviers sind Toneisensteinknollen mit Petrol bekannt (KUKUK 1909), hier aber läßt sich eine Hitzewirkung nicht begründen. Eine kritische Zusammenstellung solcher Fälle mit Rücksicht auf unsere Frage wäre von Wert. Es ist aber dabei zu beachten: wenn auch die große Masse des Petrols auf dem angegebenen Wege entstanden sein wird, man doch auch berücksichtigen muß, daß nach unseren heutigen begründeten theoretisch-chemischen Annahmen stabilere Verbindungen überhaupt und somit auch Petrolea durch langsame Destillation (d. h. ohne Einwirkung von größerer Hitze) in langer Zeit entstehen können, indem die Zeit so zu sagen die schnelle Destillation (d. h. unter Hitzewirkung) ersetzt. Hierbei scheint überdies die Gegenwart gewisser mineralischer Bestandteile fördernd zu wirken. Die Mitwirkung anorganisch-mineralischer Verbindungen ist schon wiederholt angenommen worden und das ist auch der Grundgedanke von H. MONKE und F. BEYSCHLAG (1905), wenn sie sich durch die Tatsache des meist in der Nähe von Petrol oder mit ihm zusammen vorkommenden Salzes zu der Annahme leiten lassen: das Salz müßte wohl irgend eine vom Chemiker näher zu untersuchende Rolle spielen bei der Entstehung des Petrols. Ich selbst denke allerdings bis auf weiteres weniger an das Chlornatrium und seine Begleitsalze als vielmehr zunächst u. a. an Calcium- und Eisenverbindungen, denn das läßt sich vielleicht schon jetzt durch Tatsachen stützen. Es geht nämlich die Bituminierung des Sapropels in den Sapropeliten schneller vor sich, wenn die nicht brennbaren mineralischen Bestandteile chemisch relativ leicht beweglich sind, d. h. es ist die Anreicherung von Wasserstoff in solchen Gesteinen (die Hinneigung des kaustobiolithischen Materiales zu Petroleum bzw. Asphalt und ähnlichem) um so größer und geht um so schneller von statten, je mehr solche nicht brennbaren Mineralteile beigemischt sind. Es ist also zu berücksichtigen, daß labile, brennbare, organische Verbindungen um so eifriger stabilen Zuständen entgegengehen, d. h. sich zersetzen, wenn sie mit gewissen, nicht brennbaren anorganischen Verbindungen vermischt sind. Anorganisch mineralische Verbindungen, wie etwa Quarz, die chemisch schwer beweglich sind und mit den sich zersetzenden organischen Massen keine chemischen Umsetzungen ein-

gehen, kommen dabei nicht in Betracht, aber Verbindungen wie die üblichen Kalk- und Eisenverbindungen z. B. spielen hier eine bemerkenswerte Rolle. Es ist ja bekannt, daß sich Humus um so schneller zersetzt, wenn Kalk beigemischt ist, und die Tatsache, daß die Sapropelite mit größerem Kalk-, Eisen- u. dergl. Gehalt wasserstoffreicher sind, als gleichalterige Sapropelite, denen diese Beimengungen fehlen, weist darauf hin, daß auch beim Sapropel, wenn es mit den genannten Verbindungen gemengt ist, die Erreichung stabilerer Verbindungen beschleunigt wird. Unter Luftabschluß sind daher diese stabileren Verbindungen Bitumina (Petroleum, Asphalt u. dergl.), und in der Tat sind hierfür mancherlei Belege vorhanden. Zunächst ist darauf hinzuweisen, daß kalkige Sapropelite schon beim bloßen Anschlagen, selbst wenn sie oft nur tertiäres Alter haben, stark bituminös riechen (Stinkkalke!) und bei der Destillation besonders leicht ohne weiteres Petroleum ergeben. Schon durch bloßes Übergießen mit HCl gibt es Petroleumgeruch und nach Lösung des Kalkes kann man auch Öltröpfchen aus solchen Sapropeliten erhalten, deren nachträgliche Infiltration mit Petroleum nicht gut angenommen werden kann. Die Behandlung mit HCl ist zur Konstatierung von Bitumen besonders empfindlich und bei ihrer Bequemlichkeit sehr zu empfehlen. Die besonders starke Bituminierung, wie sie für ältere Kalksapropelite (z. B. die mittelcambrischen Andrarum-Kalke in Schweden) charakteristisch ist, macht sich auch in der Häufigkeit von Asphaltkalken geltend (vergl. Fig. 31). An dieser Einwirkung des Kalkes wird es liegen, daß in stark kalkigen Sapropeliten figurierte Bestandteile meist kaum erhalten sind, abgesehen von größeren Resten wie größeren *Foraminiferen* (*Fusulinen*, *Nummuliten* usw.), sonstigen Kalkschalen, *Lithothamnium*-Skeletten u. dergl. Dann ist zu beachten, daß Sapropelitalagerungen, die einen Wechsel von Schichten aufweisen, von denen die einen kaustobiolithreicher und die anderen kaustobiolithärmer sind, es die letzteren sind, diejenigen also, die mehr anorganisches Mineral besitzen, die relativ mehr Petroleum bei der Destillation liefern, als die kaustobiolithreichen Lagen. Das ist z. B. der Fall bei dem Kerosinschiefer Australiens, bei den permischen Bogheadablagerungen von Autun usw. FERD. HORNUNG (1905) und dann auch H. KÜNKLER und H. SCHWEDHELM (1908) machen auf das wahrscheinliche Vorkommen von natürlichen fettsauren Erdalkalien aufmerksam, die durch weitere Umsetzung dann leicht zu Petrol und verwandten Bildungen (Asphalt) werden können. Die beiden letztgenannten Autoren sagen: Das Kalkkarbonat „reagiert schon bei normalen Druck- und Temperaturverhältnissen, besonders bei Anwesenheit von Wasser, unter CO₂-Entwicklung auf flüssige Fettstoffe und zwar energisch auf Fettsäuren, langsam auf Glyzeride unter Emulsionsbildung. Es bilden sich die Kalksalze“. In einer Anmerkung hierzu wird hinzugefügt: „ebenso verseifen doppelt-

kohlensaure Alkalien, sämtliche kohlensaure Erdalkalien und Aluminiumhydroxyd“. Es gibt übrigens auch Eisenseife usw.

HORNUNG sagt (p. 549); es „entstanden Kalksalze der Fettsäuren, und diese wiederum zerfielen mit Wasser in Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff und kohlensauren Kalk.“ Inwieweit die von K. NATTERER beobachteten Spuren von Petroleum im Tiefseeschlamm des östlichen Mittelmeers hierher gehören, wäre noch näher zu untersuchen; es könnte sich hier auch um Petrolerguß ins Meer handeln. Gewisse Sapropelite, wie reine Sapanthrakone usw., haben aber natürlich nicht ein Stadium fettsaurer Erdalkalien durchgemacht, denn sie enthalten heute noch in Massen die figurierten Bestandteile, die den Urmaterialien unter den Lebewesen angehören, die diese Sapropelite erzeugten. Es fehlte in ihnen ja auch das nötige Quantum an anorganisch-mineralischen Verbindungen.

Das alles führt zu der Ansicht: Petrolea möchten sich auch durch weitere Selbstersetzung (Bituminierung) von geeigneten Sapropeliten ohne weiteres bilden können; aber flüssig, in Massen kommen sie wohl nur nach einer Herausdestillation vor, sei's daß das wie angegeben entstandene Petrol dadurch bewegt wird, sei's, daß es — aus Sapanthrakonen und überhaupt aus noch nicht bis zur Petrolbildung gelangten Sapropeliten — dabei erst destruktiv entsteht, gleichzeitig mit brennbaren Gasen, die in dieser Zusammensetzung und Mischung wohl nur bei einer Hitzewirkung resultieren.

Als Rückstand bei der Destillation bleibt dann C übrig, der die ursprünglichen Sapropelite schwarz färbt, oder es bleibt auch, wenn es nicht bis zu einer vollständigen Zersetzung gekommen ist, ein mehr dem Anthrazit sich nähernder Rückstand.

Daß das Destillationsprodukt sich im allgemeinen nicht dort finden wird, wo die Destillation erfolgte, ist selbstverständlich: das Petroleum wandert nach den Stellen des geringsten Widerstandes, das sind vor allem, wie STERRY HUNT (1859) und dann H. HÖFER (1876) begründeten, die Kämmen der Antiklinalen. M. LOHEST (1905) hat hierzu ein hübsches Experiment gemacht. Er hat (vergl. Fig. 32 A) plastisches Gestein übereinandergeschichtet und in seiner Mitte zwei dünne Fettschichten eingeschaltet. Das Ganze kam in ein Behältnis mit beweglichen Wänden und wurde mit Sand bedeckt. Nähert man nun die zwei gegenüberliegenden Wände durch Pressung so weit, daß aus dem Inhalt des Behälters ein Sattel wird, so sieht man, nachdem der Sattel quer durchgeschnitten wird (C und B), wie das Fett g nunmehr vornehmlich die Gipfelinie des Sattels einnimmt, wohin es also gewandert ist. Wo sich eine Spalte bildet, ist ebenfalls Fett in ihr vorhanden. A und B in unserer Figur gehören zusammen, C ist das Resultat eines Experiments, dem ich selbst beigewohnt habe.

Die Sapropelite, aus denen das Petroleum hervorging, müssen also oft an anderen Orten gesucht werden als dort, wo sich das Petroleum vorfindet.

Das regelmäßige auf hunderte von Quadratkilometern sich erstreckende Petroleumvorkommen Ohios und Indianas im dortigen silurischen Trentonkalk ist aber wohl eine Lagerstätte, wo sich das Petroleum noch am Orte seiner Entstehung vorfindet. Der sehr fossilreiche, zerklüftete Trentonkalk selbst ist jetzt sehr arm an Bitumen, aber dafür dunkel, also wohl bereits abdestilliert. Auch der in der Literatur als Anthrakonit geführte, durch Kohle schwarz gefärbte Kalkstein mag ein

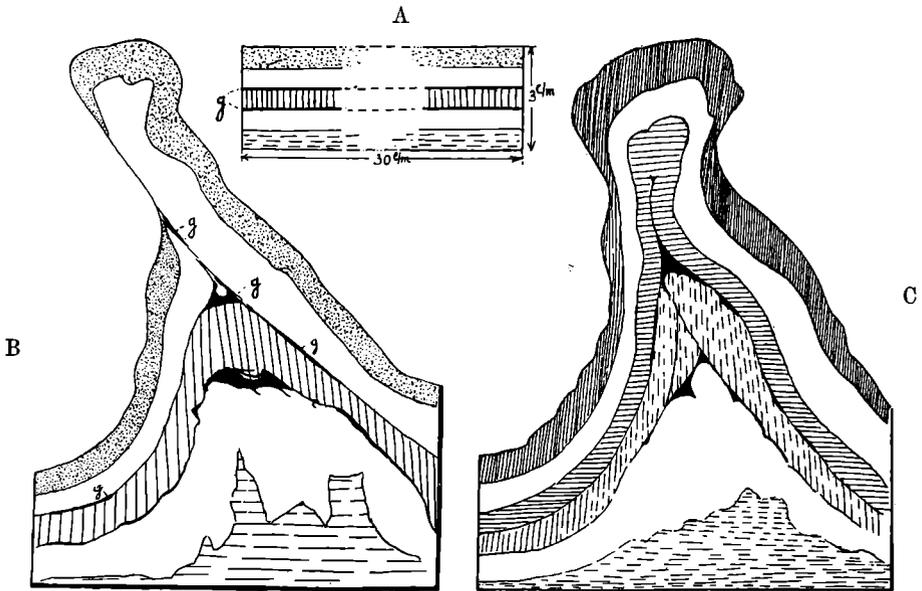


Fig. 32. Erklärung im Text. (Nach LOHEST.)

ausdestilliertes ehemaliges Sapropelgestein sein, ebenso wie überhaupt die durch fein verteilten Graphit dunkel gefärbten Kalksteine, alten Tonschiefer usw. Auch ERNST WEINSCHENK, der sich eingehend mit dem Graphit beschäftigt hat, sagt (z. B. 1907 p. 77): „Der Graphit ist selten in Eruptivgesteinen als primärer Bestandteil und dann meist in Form dichter Knollen vorhanden. Seine wahre Heimat sind die umgewandelten Kalke und Schiefer, in welchen er zum Teil durch kontaktmetamorphische Umbildung aus organischer Substanz entstand, zum Teil eine Art von Fumarolenbildung darstellt, wobei gleichzeitig die Gesteine weithin zersetzt wurden.“ Bei der Destillation durch kohligen Rückstand schwarz gewordene Sapropelite, schwarze Tonschiefer usw. sind dann natürlich nicht mehr bituminös und es ist schwer und vielleicht unmöglich, ihnen anzusehen, ob sie in der angegebenen Weise entstanden sind oder ob

der Kohlenstoff resp. die restierende Kohle auf Humusbildungen zurückzuführen ist. Manche Graphite mögen wohl die letzten Reste, die nach der Destillation von fossilem Sapropel verkohlten Rückstände sein, so z. B. die Vorkommen im Praecambrium. Freilich vermögen aber alle Kaustobiolithe dabei verkohlte kokige bis graphitische Reste zu geben. Wo Graphit sich auf sekundärer Lagerstätte in Spalten u. dergl. vorfindet, müßte ein abgeleiteter Kaustobiolith dorthin geraten und erst dort verkohlt sein.

Durch Filtration in Gesteinen und Trennung nach dem spezifischen Gewicht scheiden sich die Petrolea — da sie Gemische sind — in leichte (dünne) und schwere (dicke) Öle. DAVID DAY experimentierte zur Veranschaulichung des Gesagten mit Walk-(Fuller-)erde (einem aus Basalt hervorgegangenen Ton) in einem Glaszylinder. Er goß oben Rohöl darauf, das sich im Eindringen schied in leichtes, schwefelloses Öl, das sich unten hin begab, und in schweres, schwefelhaltiges, das oben blieb. Auch Paraffin enthaltende Öle und solche, die frei davon sind, können sich in der angegebenen Weise scheiden. Die obere Ölzone bei 125—240 m von Wietze im Hannöverschen enthält schwere Öle ohne Paraffin, die untere Zone bei 245—312 m leichte Öle mit Paraffinen.

Im Verlaufe der geologischen Zeiten sind weitere chemische Veränderungen mit dem Destillat vor sich gegangen, je nach den Bedingungen, unter die es geriet.

Es ist selbstverständlich, daß je nach der Verschiedenheit in der chemischen Zusammensetzung der organischen Urmaterialien und auch, je nachdem sie als reine Sapropelite oder Kalksapropelite usw. vorlagen, schon das ursprüngliche Destillationsprodukt nicht überall in spezieller, sondern nur in genereller Hinsicht übereingestimmt hat, und dieses muß ferner nach Maßgabe der Unterschiedlichkeit von Druck und Temperatur, die eingewirkt haben, verschieden ausgefallen sein. Das alles erklärt hinreichend die Variationen in der Zusammensetzung der Petrolea verschiedener Herkunft.

Als Elementaranalysen-Beispiel mag das folgende dienen:

| | Ohio-Petrol | Pennsylvanien-Petrol |
|----------------|-------------|----------------------|
| C | 85,00 % | 86,10 % |
| H | 13,80 „ | 13,90 „ |
| S | 0,60 „ | 0,06 „ |
| O, N | 0,60 „ | |
| | <hr/> | <hr/> |
| | 100,00 % | 100,06 % |

Bei der natürlichen Destillation entwickeln sich auch brennbare Gase, die von den Lagerstätten der Petrolea her allbekannt sind und brennend den Feueranbetern heilig sind. Gelegentlich treten in Sapropeliten — wie z. B. im Flysch — schlagende Wetter auf. Die Gase

der Sapropelite (recenter und fossiler) haben viel mehr Kalorien als die der Humusgesteine (rezente und fossile, also von Torf und Steinkohle z. B.). Sie enthalten im Durchschnitt z. B.:

| | |
|-------------|---------------------------------|
| 1,64— 2,35 | % H |
| 92,67—93,85 | „ CH ₄ |
| 0,20— 0,35 | „ C ₂ H ₄ |
| 0,41— 0,53 | „ CO |
| 0,20— 0,25 | „ CO ₂ |
| 2,98— 3,82 | „ N |
| 0,15— 0,21 | „ H ₂ S |

Das Erdwachs (Bergwachs), der Ozokerit, der u. a. im Petroleumrevier bei Boryslaw in Galizien namentlich in Spalten reichlich vorkommt, ist der Rückstand von Petroleum, dessen leichter verflüchtigende Bestandteile mit der Zeit natürlich davongehen, wenn das Petroleum für die Atmosphären leichter zugänglich ist. Die Paraffine bleiben dann als Verdunstungsrest des flüssigen Petroleums zurück. Wenn man Paraffinpetrol längere Zeit einem starken Luftstrom aussetzt, so erhält man Paraffin als Rückstand. — Ähnlich dem Ozokerit sind der Kir (eine Verdickung der dunkelbraunen Naphtha der Halbinsel Apscheron an der Luft), der Baikerit vom Baikalsee, der Elaterit, der Hatchettin (von dem Wettiner Carbon-Revier), alles Produkte, die sich aus gewissen Petrolen ausscheiden können oder durch Verlust des Flüchtigsten und durch Oxydation entstehen usw. — Eine Zwischenbildung zwischen Petrol und Ozokerit ist der Kindibal. Bei den Naphthen-Petrolen gibt es einen Rückstand von Asphalt (Erdpech, Erdteer, auch Bergpech, Bergteer, bitumen judaicum). Dementsprechend findet sich fast überall, wo Petrol auftritt, auch Asphalt, rein oder in den Gesteinen.

Es kommt bei der Entstehung der genannten schmierigen oder wachsartigen bis festeren abgeleiteten Sapropelite auch eine Oxydation und Polymerisation hinzu, die, je nachdem sie mehr oder minder weitgehen, die Eigenarten bedingen. Der in Verbindung mit Petrol, das stellenweis herausquillt, auftretende Asphalt des Toten Meeres (Judenpech) hat nach JACUNSKI die folgende Zusammensetzung: 77,18 % C, 9,07 H, 9,40 S, 2,10 N und 0,50 Asche.

Ob der Albertit (in Adern eines palaeozoischen Sapropelits der Albert-Country, Neu-Braunschweig, vorkommend) u. a. ähnliche Kaustobiolithe wie der Grahamit usw. auch in diese Gruppe abgeleiteter Sapropelite gehören, wäre noch näher zu untersuchen. Der Albertit sieht aus wie sehr glanzkohliger Asphalt; er ist sehr leicht brüchig und ergibt ungemein viel Gas, indem er nach dem Verbrennen eine ganz schaumige Kohle hinterläßt. Jedenfalls gibt es in der Reihe abgeleiteter Sapropelite alle denkbaren Übergänge vom leichtflüssigen Öl bis zum festen, äußerlich steinkohlenähnlichen Kaustobiolith.

Das so häufige Zusammenauftreten von Petroleum mit Steinsalz und den begleitenden Salzen (vergl. auch das p. 87 Gesagte) — es gibt auch Salze, die Kohlenwasserstoffe einschließen (Knistersalz), das Petroleum in Pennsylvanien aber z. B. kommt nicht in Verbindung mit Salz vor — mag sich aus der Eigenart der Stellen auf der Erde erklären, wo die Muttergesteine der Petrolea, die Sapropelgesteine, hauptsächlich und in größeren Massen gebildet werden: das sind diejenigen Flachküsten der Meere, auch diejenigen abflußloser Gebiete (man denke an die Verhältnisse nördlich vom Kaspischen Meer), die dem Wasser soweit Zutritt gestatten, daß mehr oder weniger ständige Wasserstellen entstehen. Wo diese derartig abgeschlossen sind oder nur gelegentlich Überschwemmungen erleiden, um mehr oder weniger stagnierende Wasserflächen zu bedingen, ist eine Sapropelbildung begünstigt, ebenso aber auch die Entstehung von natürlichen Salzgärten, so daß ein und dieselben Örtlichkeiten sowohl die petroleumliefernden Gesteine wie auch Salzablagerungen erzeugen.

Es gibt Organismen, die einen sehr hohen Salzgehalt vertragen, ohne an Lebensfähigkeit einzubüßen. Gewisse *Kieselalgen* und *Chlamydomonaden* wachsen und gedeihen noch in Lösungen, die 17,8 % Kochsalz enthalten, *Aspergillus* und *Penicillium* in Lösungen bis 17 resp. 18 %. Nach FERD. LUDWIG, der sich (1903 p. 140) über einige Mineralseen ostsibirischer Steppen geäußert hat, wimmelt der Beisksche See von kleinen *Crustaceen*; dieser enthält über 10 % Salz in Lösung. Der See Schuneth trägt auf seinem Boden ausgeschiedenes Salz, der Rand ist schlammig; sein Wasser enthält über 15 % Salz in Lösung. In dem feuchten Schlamm befindet sich über die Hälfte „Wasser, organische und flüchtige Substanz“. Der Bittersee hat einen Salzrand, der auf einer 1 cm, lufttrocken $\frac{1}{2}$ cm dicken „Algenschicht“ ruht, die sich auch in den See hineinzieht. „Unter ihr liegt fast schwarzer Mineralschlamm“, der in der Mitte des Sees durch eine Salzsicht vom Wasser getrennt ist. Das Wasser enthält ca. 6 % Salz in Lösung.

A. F. STAHL, der im selben Jahre (1899) wie KRAEMER und SPILKER und zeitlich vor ihnen die *Kieselalgen* (*Diatomaceen*) für die ursprünglich Petroleum liefernden Organismen erklärte, hat an der Nordküste des Kaspischen Meeres Beobachtungen gemacht, die in unserem Zusammenhange ebenfalls wichtig sind. Er schildert die Petroleum (spezieller Naphtha) führenden Tertiärschichten im Kaukasus und Transkasprien als mehr oder weniger von Salz imprägnierte, kalkige, sandige (des öfteren gewellte) Mergel, wechsellagernd mit dünnblättrigen, schwarzen, bituminösen Schiefertönen, mit Einlagerungen von Sphärosideriten, fetten Tönen und Sandsteinen. „Dieser, stellenweise bis 3000 m mächtige, aus nur wenig mächtigen einzelnen Flötzen bestehende Schichtenkomplex weist überall auf ein flaches Ufergebiet und seichtes Meer hin. Auch

scheint das ganze Gebiet von säkularen Hebungen und Senkungen bald trocken gelegt, bald vom Meere überschwemmt worden zu sein. Diese Hebung und Senkung erfolgte nie plötzlich, sondern ganz allmählich in langen Zeitperioden. Bei dem Zurücktreten des Meeres blieben, wie heute noch in den Kalmücken- und Kirgisensteppen am Kaspischen Meer eine große Anzahl von größeren und kleineren Seen vom Meere abgeschnitten“. Ursprünglich meinte der genannte Autor, daß in diesen Seen die Diatomaceen die Hauptrolle spielen, die „die sogenannten schwarzen Salzschlämme bildeten“. Diese Angabe ist aber wie bei KRAEMER und SPILKER aufzufassen und an Stelle von „Diatomeen“ ist ganz allgemein an das pflanzliche und tierische Leben in den Salzwasserstellen zu denken. Ablagerungen dieser Art „haben wir in den Naphthaschichten als bituminöse, feinblättrige, schwarze Schiefertone, die oft auch noch die in ihnen gebildete Naphtha enthalten, wogegen die Naphtha, die wir heute über oder unter den Schiefertönen im Sande erbohren, eigentlich schon als auf sekundärer Lagerstätte befindlich erscheint. Diese Sande unterscheiden sich durch nichts von den Dünenanden der jetzigen Steppen“.

Nach STAHLs Darstellung (1901 und 1903) bildet „das ganze an 300 km sich in das Land erstreckende Ufergebiet im NW., N und NO. des Kaspischen Meeres eine Ebene von unzähligen Salzseen und Dünenhügeln“. Unter anderen zeigte der Inder-Salzsee Ablagerungen schwarzer Salzschlämme, Sand und reinerer Salzsichten in Wechsellagerung. Örtlich vom Bartaldaktu-See befinden sich mehrere kleine Salzseen „mit sedimentärem Salz von manchmal rosaroter Farbe, die von im Salz in großen Massen eingeschlossenen Keimen der Crustacee *Artemia salina* verursacht wird. „Sobald im Frühjahr Regen- und Schneewasser das Salz lösen, entwickeln sich diese Keime zu makroskopisch sichtbaren, runden Körnern, woraus dann die kleinen Crustaceen schlüpfen, die dann zum Herbst absterbend, mit anderen Salzmikroorganismen, wie *Lacrymaria caspia* etc., die ich im trockenen Meeresschlamm bei Schilaja-Kosa fand, die schwarzen Salzschlämme bilden“. Das massenhafte Vorkommen von *Artemia salina* und anderen Organismen hat dann STAHL darauf geführt, nicht die Diatomaceen allein verantwortlich zu machen.

Humus-Kohlen

Es ist wiederholt die Frage aufgeworfen, bejaht und von anderen Seiten wieder verneint worden, ob die Reihenfolge 1. Lebendes Material, 2. Streu, 3. Torf, 4. Braunkohle, 5. Schwarz- (Stein-)kohle, 6. Anthrazit (Kohlenblende) den natürlichen Entwicklungsstadien des Humuskaustobioliths entspreche, d. h. ob aus Torf Braunkohle, aus dieser Schwarzkohle (Steinkohle), und aus dieser Anthrazit im Verlaufe der Zeiten und bei der weiteren Umbildung des Gesteins werde.

Nach Maßgabe der Selbstzersetzung entstehen wesentlich H_2O und CO_2 , und zwar H_2O so lange, als noch H und O vorhanden, und CO_2 (auch CO) so lange noch O neben C vorhanden ist. Da der O-Gehalt immer mehr und mehr abnimmt, wird daher auch der H_2O -Gehalt der bergfeuchten Kaustobiolithe immer geringer und ebenso die Abscheidung von CO_2 . Daher enthält Braunkohle bergfeucht meist rund 30, auch noch 50 und mehr Prozent H_2O , Humus-Schwarzkohle des produktiven Carbons hingegen rund 2 (auch weniger und etwas mehr) Prozent, Anthrazit $1/2$ % usw. Dementsprechend überwiegt in den Gasexhalationen der Braunkohle CO_2 („Schwaden“ der Bergleute, „matte Wetter“); CO_2 nimmt bei den weiter zersetzten Kohlen immer mehr ab und bei der Humus-Steinkohle überwiegt dann CH_4 , während die CO_2 -Produktion stark zurücktritt („schlagende Wetter“). Außer den angegebenen Gasen wird auch etwas N abgegeben (Beispiele siehe bei MUCK 1891). Der Kaustobiolith wird demnach immer sauerstoffärmer und reicher an Kohlenstoff; danach ist gegen die angegebene Reihenfolge, die in chemischer Hinsicht der genannten Tatsache durchaus gerecht wird, nichts einzuwenden. Sie wird durch alle übrigen Tatsachen unterstützt, die schlagend klarlegen, daß die Braun- und Steinkohlenlager Moore wie die heutigen Torflagerstätten gewesen sind.

Da das Verbrennen eine Oxydation ist, so bedeutet ein größeres Vorhandensein von Sauerstoff in den Torfen, Kohlen usw. auch eine geringere Wertigkeit als Brennmaterial, da der bereits in diesen Stoffen vorhandene Sauerstoff nicht mehr durch Verbrennung zugeführt werden kann, demnach ein Teil des Materiales als Brennstoff nicht in Betracht kommt. Aus einem solchen Unterschied wird niemand, der mit den Elementen der Chemie vertraut ist, einen prinzipiellen Unterschied zwischen Torf usw. bis zum Anthrazit herleiten. Wenn daher die angegebene Reihe in der Tat so zusammengehört, daß durch den fortschreitenden Selbstzersetzungsprozeß, der sich in der Natur vollzieht, eine ständige Anreicherung von Kohlenstoff in den Substanzen stattfindet,

so liegt der Gedanke eines möglichen Gelingens eines Versuches nahe, Kohlen künstlich herzustellen, etwa durch Anwendung von Hitze und Druck sowie möglichsten Abschluß der Atmosphärlinien, damit die entstehenden Destillationsprodukte zum Teil zurückgehalten werden und nicht eine vollständige Verbrennung eintreten kann. Das wäre ein beschleunigtes Verfahren für die Umbildung von Pflanzensubstanz in der Richtung der natürlichen Kohlen.

ALEXANDER PETZOLDT hat dies durch exakte Experimente (1841 p. 27) in der Tat erreicht, indem er künstliche Steinkohlen und zwar aus frischem Holz hergestellt und später (1882) auf künstlichem Wege entstandene Braunkohlen und Anthrazit beschrieben hat. Die gewissenhaften und wichtigen Arbeiten PETZOLDTs sind leider viel zu wenig beachtet worden; ich gehe daher ausführlich auf sie ein. Der Genannte hat 1841 nachdrücklich darauf hingewiesen, daß die Steinkohlensubstanz einmal weich und flüssig gewesen sein muß. Er folgert dies 1. aus dem muscheligen Bruch, den ursprünglich mehr oder minder flüssig gewesene Substanzen nach ihrer Erhärtung aufweisen und der bei der Steinkohle, aber besonders auffällig bei der Cannelkohle eintritt. 2. Dasselbe folgert PETZOLDT aus den nicht selten zu beobachtenden prismatischen und kugeligen Absonderungsgealten¹⁾, die nur aus dem Rückzug (Schwinden) einer weichen oder flüssigen Masse während ihres Festwerdens erklärt werden kann. 3. Das mikroskopische Bild spricht ebenfalls für den ursprünglich weichen Zustand, da sich u. a. mit Gas gefüllte Bläschen finden.

Das Experiment zur Herstellung künstlicher Steinkohlen wurde in der Weise ausgeführt, daß PETZOLDT die Zeit, die zur Entstehung natürlicher Steinkohle gewöhnlich erforderlich ist, durch künstliche Hitze Wirkung ersetzte. Er ließ äußerst starkwandige, gußeiserne Büchsen anfertigen, deren jede fest und luftdicht verschließbar war. In jede Büchse wurde ein Stück Holz (von *Carpinus Betulus*) gesteckt. Nach Verschuß wurden die Büchsen in einer Grube mit 2 parallelen Wänden, die mit Eisenplatten belegt waren, derartig eingeklemmt, daß die Deckel unmöglich weichen konnten, und dann wurde Feuer unter die Büchsen gemacht. Es ergab sich nach Schluß des Experimentes in den Büchsen das Vorhandensein einer schwarzen, glänzenden, sehr vollkommen geschmolzenen Masse, die fast nur den halben Raum einnahm, den das Holz erfüllt hatte, nur sehr kleine Blasenräume enthielt, ein spezifisches Gewicht von 1,18 besaß und von aller und jeder organischen Struktur

¹⁾ Über ellipsoidische bis kugelige Kohlengerölle vergl. hinten im Kapitel über Gerölle und konkretionäre Bildungen. Die oben gemeinte Absonderungserscheinung ist etwas anderes: es handelt sich um eine Kohle, die 1844 von J. ROTH abgebildet worden war und die in lauter kleine, mosaikartig, eng aneinander stoßende Würfel zerfällt, deren jeder meist eine kleine kugelige Absonderung enthält.

entblößt gefunden wurde. Auch bei der angestellten trockenen Destillation verhielt sich die Masse wie Steinkohle.

In der Schrift von 1882, in der PETZOLDT übrigens das schon 1841 Gesagte wiederholt, beschreibt er dann Beobachtungen, die an Holzpfählen gemacht wurden, die beim Bau der Eisenbahnbrücke bei Alt-Breisach mit Dampfrahmen in den Boden getrieben werden sollten. Die an ihrem unterem Ende mit einem eisernen Schuh bekleideten Pfähle (aus „Tannenholz“) schienen den Schlägen der Ramme nachgebend in den Boden zu dringen; es zeigte sich jedoch, daß anstehende Felsen Widerstand geleistet und daß die Pfähle in ihren untersten Teilen (unmittelbar über dem Schuh) sich gestaucht hatten. Eine Untersuchung der gestauchten Teile ergab nun die interessante Tatsache, daß hier mehrere der Pfähle inkohlt waren. Äußerlich konnte das nicht wahrgenommen werden, jedoch fand sich im Zentrum des gestauchten Teiles ein Klumpen Kohle und zwischen diesem und dem chemisch unverändert gebliebenen Holz der Reihe nach von innen nach außen geschwärztes, stark gebräuntes, schwach gebräuntes und endlich nur gelblich gefärbtes Holz. Von hervorragendem Interesse ist es nun, daß der innerste Kern der inkohlt Partie sich als Anthrazit erwies, der von Braunkohle umgeben war. Auch sonst wird in der Literatur wiederholt mitgeteilt und auch mir ist die gleiche Tatsache bekannt geworden, daß Nadelholzstempel, die in Bergwerken lange einem beträchtlichen Druck ausgesetzt waren und sich mehr oder minder gestaucht zeigten oder auch ihre ursprüngliche Form bewahrt hatten, sich in ein braun-steinkohlenartiges Material umgewandelt hatten. Es liegt mir z. B. (nicht gestauchtes) Holzmaterial (wohl von *Pinus silvestris*) eines Stempels der Grube Schallmauer bei Bachem vor, an dem man zwar die Jahresringe noch erkennt, das aber auf dem Querbruch wie Pechkohle aussieht, mit demselben Glanz, den diese Kohlensorte aufweist. Ferner findet man noch öfter Angaben, daß eingerammte Hölzer oder doch solche, die plötzlichen starken Druckwirkungen ausgesetzt wurden in einem Gestein oder einer Umgebung, die einen starken Widerstand leisteten, oder Holzteile, die sich an mechanisch stark ausgesetzten Teilen von Dampfrahmen selbst befinden, Destillationsprozesse eingegangen sind mit Bildung teer-asphaltiger Massen, wobei das meist noch als solches erkennbare Holz eine braunkohlig-lignitische, zuweilen sogar eine glanzkohlige (steinkohlige) Beschaffenheit angenommen hat.

Die in der folgenden von PETZOLDT gebotenen Tabelle angegebenen Merkmale für die beiden künstlich an den Rammpfählen erzeugten Kohlenarten, die er beschreibt, zeigen zur Genüge, daß mineralogisch und chemisch in der Tat die eine Kohlensorte Anthrazit (a), die andere Braunkohle (b) war.

| | Kohlenvarietät a | Kohlenvarietät b |
|---|---|---|
| Absonderungsverhältnisse und Bruch | Unregelmäßig zerklüftet, schieferige Textur. Die Bruchflächen schieferig oder schuppig, kleinsmuschelrig. Beim Zerschlagen sehr spröde | Kaum zerklüftet; dicht. Die Bruchfläche uneben. Beim Zerschlagen weniger spröde |
| Glanz | Starker Fettglanz | Schwacher Fettglanz; zum Teil matt |
| Farbe; Strich | Schwarz; Strich schwarz | Schwarz; Strich braun |
| Härte | = 2—2,5 | = 2—2,5 |
| Spez. Gewicht | = 1,71 | = 1,33 |
| Brennbarkeit | Sehr schwer entzündlich, verbrennt äußerst langsam, ohne Flamme | Entzündet sich leicht und verbrennt mit leuchtender Flamme |
| Mit Kalilauge gekocht | Die Lauge bleibt ungefärbt | Die Lauge wird stark braun gefärbt |
| Der trockenen Destillation unterworfen | Gibt so gut wie nichts aus | Gibt viel Teer und brennbares Gas |
| Im Dünnschliff mikroskopisch betrachtet | Schwarz und undurchsichtig. Zahlreiche, mehr oder weniger regelmäßige leere Hohlräume (als Löcher sich darstellend); sehr selten sehr kleine, mit gelber oder roter Substanz angefüllte Hohlräume | Gelb, hellbraun, rot gefärbt, durchsichtig. Deutlich erkennbares Holzgewebe |

Die in der Tabelle angegebenen Merkmale sind diejenigen, die für die Bestimmung einer vorliegenden Kohlensorte als Braunkohle bzw. als Anthrazit ausschlaggebend sind. Von diesen Merkmalen sei das eine, der „Strich“, noch etwas näher besprochen, um die Art der Wertigkeit dieser Merkmale zu kennzeichnen; denn diese ist bei allen dieselbe, wie bei dem zu besprechenden, d. h. es findet ein vollständiges Fließen der Merkmale statt, darauf hinweisend, daß die vollständigsten Übergänge und Zwischenformen zwischen Torf bis Anthrazit, ja Graphit vorhanden sind.

Der Strich, den die Kohlen auf einer weißen rauhen Fläche hinterlassen, ist hellbraun durch alle Schattierungen bis schwarz; im allgemeinen um so schwärzer, je kohlenstoffreicher die Kohle ist. Daher haben auch die palaeozoischen Faulkohlen nur einen braunen Strich, die typischen Braunkohlen ebenfalls; aber es gibt auch palaeozoische Glanzkohlen noch mit braunem Strich, obwohl diese meist einen schwarzen

Strich hergeben. Rezenter lufttrockner Faulschlamm ist im Strich von Faulkohlen nicht zu unterscheiden.

Für unseren Zweck ergibt sich aus dem Vorstehenden: 1. daß die Steinkohle vor ihrer Entstehung weich war, und zwar werden wir hinzufügen: wie der reife Torf; es läßt das also auf den Vertorfungsprozeß schließen, 2. daß Braunkohle, Steinkohle und Anthrazit nur Stadien eines Prozesses an einem Urmaterial sind, das im Prinzip gleich zusammengesetzt ist, 3. daß daher das Maß für die stärkere (oder zeitlich längere) Wirkung sich in der Tat durch die vorn angegebene Reihe in dem Sinne wiedergeben läßt, daß der folgende Kaustobiolith stets für stärkere Einwirkung von Bedingungen oder längere Dauer des fortschreitenden Prozesses spricht, als es bei der vorausgehenden Gesteinsart der Fall war.

Im Gegensatz zu diesem Resultat behauptet ED. DONATH (1904 und vorher und nachher): Braun- und Steinkohle seien chemisch etwas ganz Verschiedenes. Weil er insbesondere findet, daß das Material der Steinkohle ganz frei oder sehr arm an Lignin sei¹⁾, so ist doch die Schlußfolgerung nicht angängig, „daß die Steinkohle allem Anscheine nach aus ligninfreiem oder zum mindesten aus sehr ligninarmem Material entstanden sei.“ Denn erstens wissen wir, daß Holz zur Steinkohlenbildung reichlich beigetragen hat (vergl. p. 7), und es ist nach Analogie das wahrscheinlichste, daß dieses Holz auch Lignin enthalten hat. Zweitens ist es nur zu natürlich, daß je älter ein Humusgestein ist, um so zersetzter es im allgemeinen auch sein muß und um so weniger in demselben noch Verbindungen erwartet werden können, die mit denen in noch lebenden Pflanzen übereinstimmen. Vielmehr ist es bemerkenswert, daß überhaupt gelegentlich in Steinkohlen der Carbonzeit noch Ligninreaktion zu beobachten ist: ein Hinweis darauf, wie langsam die Selbstzersetzung bei gutem Abschluß der Stoffe vor sich geht. Wo die Bedingungen eine schnellere Zersetzung in Torf zulassen, verschwindet denn auch das Lignin schon in diesem schneller. Die Mittellamellen von Holz in Torf können nach GÉNAU DE LAMALIÈRE (1900) erhalten bleiben, und auch in mehr oder minder inkohltem Lignit ist das der Fall (GOTHAN 1906), während die Innenbekleidungen der Zellen (Hydroïden) durch Mikroben stark angegriffen und verändert sein können. Daher verschwinden Lignin und Zellulose; es bleibt nur eine amorphe nach Chloreinwirkung in Ammoniak usw. lösliche Substanz übrig. Übrigens ist in Vergessenheit geraten, daß FRANZ SCHULZE (1855) nach Behandlung von Carbon-

¹⁾ DONATH und seine Mitarbeiter FR. BRÄUNLICH u. DITZ legen Gewicht darauf, daß Braunkohle mit Natronlauge erhitzt starke Braunfärbung und mit verdünnter Salpetersäure erwärmt starke Rotfärbung der Flüssigkeit zeigt. Es entstehen dabei Kohlendioxyd, Essigsäure und deren Homologa Oxalsäure usw. DONATH hält diese Verbindungen für Abbauprodukte von Lignin. Demgegenüber reagiert Steinkohle in beiden Fällen fast gar nicht.

humuskohle mit seiner Mazerationsflüssigkeit (vorn p. 62) in dieser Splitter gefunden hat, die „bei der Behandlung mit Chlorzink-Jodkalium-Jodlösung deutliche Reaktion auf Zellulose zeigten“. — Mit demselben Rechte wie von DONATH mit dem Lignin, könnte behauptet werden, daß es zur Carbonzeit kein Chlorophyll gegeben haben könne, da es zwar — trotz seiner namentlich unter Lichteinwirkung so leichten Zersetzlichkeit — unter Umständen noch in Ablagerungen des Tertiärs (im Dysodil), aber nicht mehr in Carbonkohlen nachweisbar sei. Der Schluß, der vielmehr aus solchen Erfahrungen allein zu ziehen ist, ist der, daß im allgemeinen mit dem Alter der Kohlen die Verbindungen progressiv chemisch immer stärker von den in lebenden Pflanzen vorhandenen Stoffen abweichen. Vor allem nimmt natürlich — hinreichenden Abschluß vorausgesetzt — der O-Gehalt immer mehr und mehr ab (vergl. p. 17).

Bezüglich der kaenozoischen und palaeozoischen Humuskohlen ist aber allerdings noch zum Verständnis ihres Unterschiedes die ursprüngliche Verschiedenheit des Urmaterials in chemischer Hinsicht in Rechnung zu ziehen, jedoch in anderer Richtung, als dies DONATH annimmt. Es ist nämlich bemerkenswert, daß in denjenigen Ablagerungen, die den größten Vorrat an Kohlen bergen, also im produktiven Carbon, Lager von Liptobiolithen fehlen, und das hat seinen Grund in einer zeitlich späteren Entstehung harzhaltiger Pflanzen. Näheres darüber ist im Kapitel über die fossilen Liptobiolithe gesagt. Es ist daher anzunehmen, daß bei dieser zum Teil chemischen Verschiedenartigkeit der Urmaterialien, aus denen einerseits die Schwarzkohlen des Carbons und andererseits die Braunkohlen des Tertiärs hervorgegangen sind, auch die chemische Beschaffenheit dauernd etwas verschieden bleibt, mit andern Worten: es dürfte aus diesem Grunde aus Braunkohle des Tertiärs nicht im Verlaufe der Zeiten eine Kohle werden können, die ganz und gar derjenigen des Carbons gleicht. Vielmehr wird der oft reiche Harz- und Wachsgehalt der neueren Kohlen, der sich überdies bei seiner schweren Zersetzbarkeit noch im Verlaufe der Zeiten anreichern muß, dauernd die chemische Natur der Kohlen beeinflussen.

Mit Harz imprägnierte, sonst leicht zersetzliche Teile erhalten sich bekanntlich länger, zersetzen sich schwerer; daran mag es zum Teil mitliegen, daß Tertiärkohlen oft so wenig zersetzt sind. Früchte, Samen und Holzreste treten uns in ihnen vielfach in nur subfossilem Zustande entgegen, das Holz oft so, daß es nur angebräunt erscheint, es also so wenig in seinem Ansehen verändert ist, daß auch der Laie über die Holznatur keinen Augenblick zweifelhaft ist. Daher denn auch in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts für Braunkohle die Benennung braunholzige Kohle nicht selten ist. Die Isländer nennen ihre holzige Braunkohle Surturbrand nach dem mythologischen Feuerriesen Surtur, der einst die ganze Welt in Brand stecken soll. Die nur geringe Ver-

änderung des Holzes hat bei ihrer Auffälligkeit der Tertiärkohle in der französischen und englischen Sprache und gelegentlich auch in der deutschen den Namen lignite und Lignit verschafft, vom lateinischen lignum das Holz. Das Wort Lignit sollte jedoch nur für das subfossile Holz, nicht aber nun auch in übertragenem Sinne für die gesamten Tertiärkohlen Verwendung finden, und zwar deshalb, weil wir das Wort Lignit für die in Rede stehenden Hölzer brauchen. Die Kohlen selbst würde man danach nur dann als lignitische bezeichnen, wenn eben subfossiles Holz darin besonders auffällig ist, sei es, daß sie, wie in seltenen Fällen, fast ganz aus Lignit bestehen, oder sei es, daß sie viel davon enthalten, eingelagert in die Kohle von festerdiger Beschaffenheit: erdige Braunkohle. Wenn man nach Merkmalen, wie dem Vorhandensein von Lignit in Braunkohlen, eine Klassifikation vornehmen wollte, da könnte man viele Kohlen ohne rechten Nutzen für die Wissenschaft unterscheiden; so nannte BRONGNIART mesozoische Kohlen stipite, weil er in ihnen *Cycadaceen* vorwaltend fand, von Stipes der Strunk, wie früher die Botaniker u. a. gern die *Cycadaceen*-Stämme, auch Wedelstiele nannten. Die Namen für bestimmte Braunkohlenarten wie Bastkohle, Nadelkohle (lignite bacillaire), Proben, die z. B. aus Leitbündeln und Skelettsträngen von *Palmen* bestehen, Blattkohle (Laubkohle) usw. haben denselben Wert.

Einige Lignite, also tertiäre Hölzer, gehen an der Luft in „Pechkohle“, d. h. in eine mehr homogene Kohle über, die nicht mehr ohne weiteres die Holznatur erkennen läßt.

Die hier und da vertretene Ansicht, die Tertiärkohlen seien ganz besonders auf zersetzte Holzreste zurückzuführen im Gegensatz zu geologisch älteren Kohlen, ist nicht begründet und ursprünglich nur dadurch veranlaßt, daß eben die Tertiärhölzer jedem so leicht ihre Natur zu erkennen geben, namentlich dann, wenn sie, von harzführenden Bäumen stammend, sich besonders gut erhalten.

Unter diesen Umständen kann es nicht wundernehmen, wenn in Braunkohle sogar chemisch noch Substanzen gleicher Art zu konstatieren sind, wie in lebenden Pflanzen. Weit weniger auffällig ist es bei dem Vorhandensein von so vielem Lignit in der Braunkohle, daß auch für Holzsubstanzen charakteristische Reaktionen mit Braunkohle möglich sind.

Nun ist aber noch weiteres zu erwägen. Die heutigen Torfe sind verschieden, je nachdem es sich z. B. um Sumpfmoor-, Standflachmoor-, Zwischenmoor- oder Hochmoortorfe handelt, die jedesmal ganz anderen Pflanzengemeinschaften den Ursprung verdanken und die unter sehr abweichenden Ernährungsbedingungen entstehen; es ist aber einleuchtend, daß in erster Linie Flachmoortorfe geologisch erhaltungsfähig sind, und die meist gemischten Vegetationsbestände der Flachmoore ergeben bei der generell übereinstimmenden chemischen Konstitution der höheren

Pflanzen, die hier in Betracht kommen, einen meist ziemlich übereinstimmenden Torf. Das Gros der Flachmoore ist heute und war stets bestanden mit Wäldern, wie das weiter hinten für die Carbonmoore noch besonders gezeigt werden wird.

Aus der verschiedenen Zusammensetzung der fossilen Humusgesteine ohne weiteres auf die Verschiedenheit der Urmaterialien zu schließen, ist bei der so komplizierten Zusammensetzung der Humusverbindungen, die man auch noch nicht einmal annähernd eruiert hat, und zu deren Veränderung und Umbildung nur geringfügige Einflüsse gehören, nicht angängig. Tut man das, so müßte man auch die Unzahl von chemisch konstatierten Steinkohlensorten als aus differentem Urmaterial entstanden annehmen. Je nach dem Grade der Verwesungs- und Fäulnisprozesse, die mitgespielt haben, je nachdem das Material später dann noch den Atmosphärlilien (der Luft und dem Wasser gleichmäßig oder einem von beiden vorwiegend) zugänglich gewesen oder ihnen verschlossen war, je nach der für die Umbildung zur Verfügung stehenden Zeit werden die mannigfaltigsten Resultate hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung der Kohlen erreicht. Alles das ist zusammenzunehmen, um die Kohlensorten zu erklären; es darf nicht ein einzelner Faktor allein herangezogen werden.

Wie sehr die äußeren Einflüsse an der Ausbildung der Torf- und Kohlensorten schuld sind, dafür noch das Folgende. Viele Torfe lassen sich verkoken wie Steinkohle und natürlich erhalten wir auch hier — wie beim Holz p. 97 — ein steinkohligenes Produkt, wenn wir die langsamen, in der Zeit gegebenen Einflüsse durch Erhitzung von Torf in geschlossenen Retorten ersetzen. Braunkohlenähnlicher Torf, den man Braunkohle nennen würde, wenn er tertiären Alters wäre, gibt es mehrfach; so ist das „untere Torflager“ im Diluvium von Lauenburg braunkohligen. Das komprimierte Torflager bei Honerdingen in der Lüneburger Heide ist braunkohlenähnlich. GÜMBEL spricht von einem diluvialen Braunkohlenlager unweit des Kochelsees usw. Freilich wurde früher (vergl. z. B. FAUJAS-SAINT-FOND) auch die Braunkohle des Tertiärs umgekehrt Turffa (Turfa), d. h. Torf genannt. Viele tertiäre Kohlen lassen sich andererseits von Steinkohlen nicht oder nur schwer unterscheiden, z. B. die von Miesbach in Oberbayern, solche Kohlen heißen gewöhnlich Pechkohlen (auch Spiegelkohlen u. dergl.).

Der eigentümliche mehr matte Glanz mancher dieser Kohlen mag auf dem Harzgehalt der Tertiärkohlen beruhen (vergl. p. 54). Mesozoische Kohlen sind erst recht oftmals steinkohligen, wie u. a. die Liaskohle von Fünfkirchen in Ungarn, die trefflich kockt, die ebenfalls jurassischen Kohlen von Kusnetzki nördlich vom Altai und diejenigen des Weihsen-Kohlenfeldes in Schantung usw., so daß man oft nicht imstande ist, auf Grund der chemischen und sonstigen Beschaffenheit solcher

Kohlen auf ihr geologisches Alter zu schließen, wie denn in der Tat die erwähnten Vorkommen früher für palaeozoische gehalten worden sind. Vom Chemiker mag hier eine Bestätigung folgen. BROCKMANN (1903 p. 263) sagt: „Die Kohlen des Deisters und von Obernkirchen gehören dem Wealden an, nach ihrer Zusammensetzung würden sie jedoch mitten in das Carbon einzureihen sein. Einige tertiäre Braunkohlen haben gleiche Zusammensetzung wie Kohlen der hangenden Partien des Saarevierts wie auch Oberschlesiens (also wie Carbonkohlen. — P.). Es müßten daher zwei sehr verschiedene Formationen nebeneinander mit der gleichen Zusammensetzung gestellt werden“. Es gibt sogar anthrazitische Kohlen mesozoischen Alters. Jungpalaeozoische Kohle — wie die im Unterrotliegenden vom Elsaß — kann Anthrazit sein; der berühmte Anthrazit von Pennsylvanien oder besser gesagt des Appalachian-Kohlenfeldes gehört den höheren Schichten des produktiven Carbons an. Über seine Entstehung hat sich schon CHARLES LYELL in seiner „Reise in Nordamerika“ (1845) auf Grund von Untersuchungen amerikanischer Forscher dahin zutreffend geäußert: der Grad, bis zu welchem die Kohle ihre gasförmigen Bestandteile verloren habe, hänge mit dem Maße der Störung zusammen, welche die Schichten erlitten hatten. „Das Zusammenfallen dieser Erscheinungen muß man zum Teil der größeren Leichtigkeit zuschreiben, womit die flüchtigen Substanzen entweichen konnten, wo das Zerbrechen der Felsen eine unendliche Zahl von Rissen und Spalten hervorgebracht hatte, und zum Teil auch der Hitze der Gase und des Wassers, die durch diese Spalten hervordrangen, als gewaltige Bewegungen eintraten, die die Schichten der appalachischen Gebirgskette zerrissen und umstürzten“. So sind u. a. aus Nordamerika Beispiele in reicher Fülle bekannt, wo idente Kohlenlager im zerklüfteten Gebirge anthrazitisch, — dort, wo nur welliges Terrain vorherrscht, schon gasreicher, und dort, wo noch die ursprüngliche, horizontale Lagerung angetroffen wird, gasreich sind. Die Amerikaner nennen ihren Anthrazit Hartkohle, ihre gasreichere Humussteinkohle Weichkohle.

Schließlich gibt es auch anthrazitischen Graphit, und Graphit kommt auch als Begleiter von Anthrazit vor, z. B. in der Grube Gröne am linken Rhoneufer. Aber der Graphit dürfte — soweit bis jetzt bekannt (vergl. p. 90) — nur unter Einwirkung von Hitze entstehen; wenn er aber — wenigstens vorwiegend — aus einem Kaustobiolith hervorgegangen ist, so ist zu verlangen, daß es ebenso wie z. B. zwischen Braun- und Schwarz-(Stein-)Kohle alle Übergänge von Anthrazit zu ihm gibt, und das ist in der Tat der Fall. Solche Mittelglieder sind der Schungit INOSTRANZEFFS, der Graphitoid SAUERS und der Graphitit LUZIS. Der Schungit z. B. enthält nach LUZI 98,10 % C, 0,43 H, 0,43 N und 1,09 Asche, aber kein O mehr, das noch im Anthrazit vorhanden ist. Bei den folgenden nehmen dann auch H und N immer mehr bis zum schließlichen Ver-

schwinden ab, und wir erhalten dann eben Graphit, d. h. C. Wir haben also in Fortsetzung der Reihe Torfe mit 50—58, Braunkohlen mit 55—75, Schwarz- (Stein-) Kohlen mit 74—96 und Anthrazit mit 90—95 % C, ebenso allmähliche Übergänge bis zum Graphit.

Wie sehr die Kohlensorten durch Einflüsse der Atmosphäriken usw. bedingt sind, mögen noch einige weitere Beispiele erläutern.

In vielen Fällen haben die Atmosphäriken durch tektonische oder sonstige Verhältnisse leichteren oder schwereren Zugang zu den Humuslagern gehabt oder aber diese waren gänzlich abgesperrt. So ist z. B. bei Sätteln die Kohle in der Sattellinie meist entgaster als die Kohle desselben Lagers in anderen Partien (Ruhrrevier). Die „magerere“ (entgastere) Kohle gehört sonst der älteren Abteilung der im Ruhrrevier vorhandenen Horizonte an, die jüngeren Kohlen sind „fetter“ und „fett“ (gasreicher); die Kohle der im Norden des Revieres gelegenen Vorkommen von Piesberg (Anthrazit) und Ibbenbüren sind aber noch magerer als die älteren Kohlen des Ruhrreviers, obwohl sie die jüngsten Steinkohlenhorizonte dieses Reviers sind. Ein sehr gleichmäßig liegendes Kohlenlager bei Obernkirchen (Bückeberg) zeigt da, wo Sandstein das Deckgebirge bildet, das Lager entgast und nicht verkokbar, dort aber, wo Schieferthon überlagert, ist das Lager gasreich und verkokbar. Im Aachener Revier ist ein Steinkohlenlager in seiner abgesunkenen, stark bedeckten Partie fett, in der höher liegenden Partie mager. Die Entstehung von „Mager-“ und „Fettkohlen“ ist daher wesentlich abhängig von dem leichteren oder schwereren Zugang der Atmosphäriken.

Durch plutonische Gesteine kann jede Kohle graphitisch, kokig, anthrazitisch und steinkohlilig werden, je nach der Intensität der Hitze Wirkung. Steinkohle findet sich im Kontakt mit Eruptivgesteinen zu Graphit und Koks metamorphosiert. Wie heutzutage Waldbrände entstehen und oft genug entstanden sind durch glühende Lavaströme, wenn diese ein bewaldetes Gebiet erreichten, so haben Lavaergüsse auch gelegentlich in vergangenen geologischen Epochen Braunkohlen- und Steinkohlenlager zu teilweiser Verbrennung gebracht, und zwar zur Verkokung, wenn die Kohle sich unter hinreichender Bedeckung befand, ebenso wie Holzkohle aus Holz entsteht, wenn es zur vollständigen Verbrennung unter nicht genügendem Luftzutritt verbrannt wird. Im Saarbrückenschen hat ein Erguß vulkanischen Gesteins (Melaphyr) ein Steinkohlenlager teilweise verkocht, und Ähnliches ist aus Niederschlesien (neben Porphy) und anderen Revieren bekannt. Berühmt ist die anthrazitische Stengelkohle vom Meißner in Hessen, wo Basaltergüsse das dortige Braunkohlenlager teilweise in die genannte steinkohlenartige feste Kokskohle umgewandelt haben. Es kann dann alle Übergänge zwischen Kohle und Koks geben; so ist die dortige Braunkohle zwar in größerer Entfernung vom Basalt typische Braunkohle geblieben, jedoch je mehr man

sich innerhalb des Lagers dem Basalt nähert, um so mehr nimmt sie die Eigenschaft des Kokes an und die in nächster Nähe des Basalts befindliche Kohle ist vollständig in Koks (Stengelkohle, Stangenkohle, stengeligen Anthrazit) verwandelt worden. Die Wirkungen der Hitze haben überdies partiell aus der Braunkohle Kohlen erzeugt, die den Habitus der Steinkohle, ja sogar des Anthrazits aufweisen (vergl. UTHEMANN 1892). Auch Graphit kann unter dem Einfluß eruptiver Gesteine aus Humuskohle werden, ebenso wie aus Sapanthron (p. 90), so sind die obersteirischen Graphitlager metamorphe carbonische Humuskohlenlager, wie schon die mit ihnen vorkommenden Pteridophyten beweisen (vergl. R. HOERNES 1900).

Die Beschaffenheit der Kohlen nach der Richtung, ob es sich um Graphit, um natürlichen Koks, um anthrazitische, steinkohlige usw. Humusbildungen handelt, ist, wie wir sahen, abhängig von den äußeren Verhältnissen. Kohlen des verschiedensten geologischen Alters können daher gleichartig, Kohlen ganz gleichen geologischen Alters können, auch dann, wenn sie aus denselben Pflanzenformationen entstanden sind, sehr verschieden voneinander sein. Freilich stimmen die Verhältnisse dort, wo sich Humus erhält, meist insofern überein, als die Erhaltung eben durch eine Bedeckung bedingt ist, wodurch ein Abschluß vor den Atmosphären eingeleitet ist. Somit darf es nicht wundernehmen, daß allermeist die wesentlichen Bedingungen für die chemischen Änderungen die gleichen sind, daß die langsame Selbstverbrennung die Hauptrolle spielt; sie kann als eine Funktion der Zeit angesehen werden. Damit muß aber notwendig im Durchschnitt die ältere Kohle die kohlenstoffreichere sein und nach den jüngeren Formationen zu immer mehr an Kohlenstoffgehalt abnehmen, an Sauerstoffgehalt zunehmen. Die Reihenfolge Anthrazit, Steinkohle, Braunkohle, Torf ist also notwendig eine solche, die im allgemeinen das Alter der Humusablagerung angibt, abgesehen von Sonderfällen, von denen oben Beispiele geboten wurden. Hiernach — da die chemische Umsetzung in der Masse ständig fort-dauert — könnte in der Tat aus Torf schließlich Steinkohle werden, wie denn schon der im lufttrockenen Zustande durchaus äußerlich steinkohlenähnliche Dopplerit eine Art Endprodukt der Vertorfung ist.

Bei der chemischen Umsetzung werden außer kohlenstoffreicheren Kohlen natürlich noch andere Produkte erzeugt, genau wie bei der Destillation der Steinkohle, insbesondere Gase, von denen p. 95 schon Genügendes gesagt wurde.

Findet man auch immer noch in manchen der allerneuesten Lehrbücher (sogar der Chemie!) angegeben, daß Steinkohle Kohlenstoff mit Beimengungen sei, die gewöhnlich als Bitumina zusammengefaßt werden, so ist doch für niemanden, der sich auch nur in elementarer Orientierung

mit den fossilen Kohlen beschäftigt hat, zweifelhaft, daß es sich in den fossilen Kohlen außer im Graphit und im Koks nicht um durch andere Beimengungen verunreinigten Kohlenstoff handelt, sondern um chemische Verbindungen insbesondere von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Man vergleiche diesbezüglich z. B. das Buch von MUCK über die Chemie der Steinkohle (1891). A. BALTZER besonders hat (1872) die Natur der fossilen Kohlen als chemische Verbindungen begründet. Schon die Tatsache der Verkokungsmöglichkeit und Lösungsfähigkeit von Kohlen, bei der dieselben geschmolzen werden, weist leicht auf die Verbindungsnatur hin. Die chemische Umbildung, die langsame „Verbrennung“ bei der Bildung der fossilen Kohlen geht ständig vor sich, man könnte auch von einer ununterbrochenen langsamen Destillation sprechen, deren Schnelligkeit abhängig ist von der Möglichkeit des Zutrittes der Atmosphärien: schneller, wenn insbesondere Sauerstoff Zugang hat, langsamer, wenn er spärlich vorhanden ist. Die bei der allmählichen Selbstzersetzung gebildeten Gase werden meist durch die überlagernden Schichten festgehalten und entweichen erst, sobald der Druck aufhört. Ein Kubikmeter Steinkohle liefert im Maximum ca. 76 cbm Gas! Gelegentlich wird durch ihren Gasinhalt explodierende Steinkohle beobachtet. Die oft beim Erhitzen wegen ihres Gasgehalts mit explosionsartigen Erscheinungen zerspringende „Knisterkohle“ kommt insbesondere in der Nähe von Eruptivgesteinen vor, die Veranlassung zur Bildung des Gases gewesen sind, das, bei dichter Bedeckung festgehalten, nicht entweichen konnte. Auch die bei der Verwitterung des Torfes entstehenden Gase können so weit festgehalten werden, daß sie schlagende Wetter bilden.

Bei dieser ständigen Veränderung der fossilen Kohlen, womit naturgemäß schließlich eine Volumenabnahme verknüpft ist, die je nach den obwaltenden Verhältnissen ganz verschieden ausfallen muß und sich besonders in der Zeit äußerlich bemerkbar machen mußte, während der sich das Material noch im weichen Zustande befand, ist es ziemlich müßig, Berechnungen anzustellen, die generelle Auskunft geben sollen über die Volumenquantität organischen Materials, die nötig ist, um ein bestimmtes Volumen Kohle zu geben. Die Reduktionsbrüche müssen nach dem Gesagten je nach den Umständen ganz verschiedene sein und schwanken tatsächlich in allen Grenzen, wie die Untersuchung von Spezialfällen ergeben hat. Bei dem vorn p. 96 erwähnten PETZOLDT'schen Experiment hat eine Volumenreduktion von $\frac{1}{2}$ stattgefunden (PETZOLDT 1841 p. 26). Ich selbst habe für Sonderfälle (1893) an natürlichen Steinkohlen Reduktionsbrüche von $\frac{1}{90}$, $\frac{1}{21}$ gefunden; in dicht abschließenden, feinen Tonschiefern aber sind die Brüche oft höchstens auf $\frac{1}{3}$ oder gar nur $\frac{1}{2}$ zu schätzen, denn inkohlt erhaltene Wedelspreitenreste zeigen oft eine meßbare Dicke, trotzdem wir nach der uns

von den Fossilien bekannten Anatomie berechtigt sind anzunehmen, daß die Spreiten der palaeozoischen Farn nicht dicker gewesen sind als die von heutigen tropischen Arten. Bei Erwägungen, „wieviel Bäume“ u. dergl. für ein bestimmtes Volumen Steinkohlen nötig sind, sind immer nur, um Vergleiche zu haben, die Verhältnisse in der gemäßigten Zone herangezogen worden; allein es würde in Zukunft berücksichtigt werden müssen, daß es sich in den Carbonpflanzen — wie wir noch sehen werden — um schnell aufgewachsene, also in kurzer Zeit viel Stoff produzierende Tropenpflanzen gehandelt hat.

Es ist im Vorausgehenden stets für die allmähliche Umbildung der Kaustobiolithe in Richtung der C-Anreicherung auf die langsame Selbstzersetzung verwiesen worden. Man findet aber die Meinung verbreitet, daß für die Bildung der natürlichen Kohlen Hitze notwendig war, und zwar wird dabei gewöhnlich noch die Mitwirkung des durch die Bedeckung der überlagernden Schichten vorhandenen Druckes angenommen. Wenn man Kohle bei niederer Temperatur destilliert, so gewinnt sie an Heizkraft, und aus den vorbeschriebenen Experimenten und Vorkommnissen in der Natur ergibt sich die den Zersetzungsprozeß beschleunigende Wirkung der beiden genannten Agentien; aber bei der Bildung der gewöhnlichen Steinkohle haben sie keine Rolle gespielt, sie kommen bei der Bildung der fossilen Humuslager nur gelegentlich, untergeordnet, in Frage. Kann man also auch — wie wir sahen — künstlich durch Druck und Hitze die fossil bekannten Kohlensorten herstellen, so ist doch der gewöhnliche Vorgang der Inkohlung in der freien Natur nicht durch solche Wirkung bestimmt. Es beweisen das u. a. die noch mit anatomischer Struktur erhaltenen Reste, deren Zellen im allgemeinen noch vollkommen intakt, d. h. nicht zusammengedrückt erhalten sind; vielmehr handelt es sich dort, wo die Zellen einmal „zusammengedrückt“ erscheinen oder ursprünglich zylindrische Reste als flache, platte Objekte erhalten sind, ganz überwiegend um ein bloßes, infolge der Erweichung bei der Zersetzung stattfindendes Insichzusammensinken der Reste. Baumstämme in ganz lockerem rezentem Torf, die sich nur wenige Dezimeter unter der Torfoberfläche eingebettet finden, können „plattgedrückt“ sein, und GÜMBEL macht darauf aufmerksam, daß in „Schieferkohle“ (= diluvialem Torf) der Schweiz „plattgedrückte“ Holzstengel neben undeformierten Koniferenzapfen, die chemisch resistenter sind, vorkommen. In ganz dichten, braunkohligen Torfen, in der Steinkohlenformation usw. kommen Samen usw. ohne wesentliche „Verdrückung“ vor. Der genannte Autor hat (1883 p. 127) lockeren Moostorf künstlich bei vollständigem Abschluß des Materials ringsum einem Druck von 6000 Atmosphären aussetzen lassen, wobei die Höhe von 100 cm auf die von 17,7 cm vermindert wurde. Der Torf erhielt dabei Pappdeckelbeschaffenheit und Schichtung — besser Schieferung (p. 54) — in ganz dünne Lagen. In Wasser getan

gingen jedoch die zusammengedrückten Zellen wieder auseinander in ihre ursprüngliche Form. Aus reifem Torf kann man bei derselben Prozedur ein äußerlich durchaus steinkohlenartig aussehendes Gestein erhalten; aber chemisch bleibt es Torf, ebenso ist es mit Faulschlamm, der für mich in dem Kgl. Materialprüfungsamt in Gr.-Lichterfelde mit hohem Druck (4200 Atm.) behandelt wurde. Es ist wesentlich die chemische (langsame Destillation) Reduktion und Umbildung bei gewöhnlicher Temperatur, die bei der Bildung der Kohlenlager in Betracht kommt. Die Entstehung des Torfes und Moders beweist uns, daß weder Hitze noch Druck nötig sind für die Erzeugung von Lagern, die zum Inkohlungsprozeß schreiten.

Ideen, die wiederholt aufgetaucht sind, nach denen die Kohlenbildung mit der Selbstentzündung von Pflanzenmassen in Verbindung gebracht werden, sind nicht begründbar, denn es handelt sich in den Kohlen der Kohlenlager durchaus nicht um echte Verkohlung zu Kohlenstoff, sondern um eine Inkohlung, um eine langsame, ohne fühlbare Erhitzung stattfindende Selbstzersetzung wie beim rezenten Humus (insbesondere dem Torf). Einen Beweis für die Mitwirkung von Hitze (Selbstentzündung) hat man unter anderem in dem Verhalten der geothermischen Tiefenstufe im Kohlengebirge finden wollen. Im Durchschnitt nimmt die Temperatur nach dem Erdinnern um je 1 Grad zu für je 33 m; im Steinkohlengebirge aber wird die Vermehrung der Temperatur um 1 Grad schneller erreicht, so in gemessenen Fällen schon bei 27 m, unter Umständen sogar schon bei 17—18 m. Auch in Braunkohlengruben ist eine schnellere Zunahme der geothermischen Tiefenstufe beobachtet worden. Aber in Wahrheit ist eine bemerkenswerte Selbsterwärmung bei dem Prozeß der Inkohlung nicht zu beobachten (vergl. dasselbe Resultat über die Bituminierung bei H. STREMMER 1904), weder in rezenten Torf-, noch in Braun- und Steinkohlenlagern, denn in Bohrungen durch Kohlengebirge konnte eine schnellere Zunahme der Temperatur nur zweifelhaft und höchstens andeutungsweise beobachtet werden, und die gegenteilige Beobachtung in Bergwerken liegt meines Erachtens daran, daß hier durch den erfolgten Aufschluß die Atmosphärien Zugang haben und nun dadurch eine schnellere Oxydation mit Temperaturerhöhung die Folge ist. Unter Umständen vermag an der Luft sogar bekanntlich eine Selbstentzündung einzutreten. Hierüber das Folgende.

Schon THEOPHRAST (um 320 v. Chr.) kannte die Selbstentzündung der fossilen Kohle: daß sie zerschlagen, aufgehäuft und mit Wasser befeuchtet sich im Sonnenschein entzünde. Durch Lagern wird denn auch die Kohle schlechter, da das Gas immer mehr entweicht, während sie — wie FAYOL experimentell belegte — bei Abschluß unter Wasser sich gut hält. Die Schilderung eines „brennenden Berges“ im Saarbrücker Steinkohlenrevier befindet sich in GOETHE'S „Dichtung und Wahrheit“

(2. Teil, 10. Buch), auf den die immerhin — besonders in der damaligen verhältnismäßig industriearmen Zeit — außergewöhnliche Erscheinung „brennender Erde“ ersichtlich starken Eindruck gemacht hat. GOETHE war, obgleich vorbereitet, doch „überrascht“ von dem „seltsamen Ereignis“. Heutzutage sind brennende Halden in Gegenden, wo viel Steinkohlenbergbau getrieben wird, nichts Besonderes mehr. Die großen Mengen schwarzen Schiefers mit ihrem merklichen Gehalt an organischer Substanz sind es, die die Selbstentzündung jener zu Hügeln aufgehäuften, beim Abbau der Kohle sich ergebenden wertlosen Gesteinsmaterialien, d. h. der „Bergehalden“ der Steinkohlengruben, veranlassen. Die lose Zusammenschüttung dieses Materials bietet dem Luftsauerstoff die Möglichkeit, in das Innere des Steinhaufens zu gelangen und so in Verbindung mit Feuchtigkeit die noch vorhandene brennbare organische Substanz zu oxydieren oder, wie ein anderer Ausdruck lautet, langsam (ohne Feuererscheinung) zu verbrennen in der Weise, wie blankes Eisen an feuchter Luft „langsam verbrennt“, d. h. verrostet. Die geringe Wärme, die hierbei erzeugt wird, wird wegen der schlechten Wärmeleitung des Gesteins nicht nach außen abgegeben, sondern erhöht die Temperatur in der Halde in gewisser Entfernung von der Oberfläche immer mehr, bis es schließlich — wahrscheinlich unter einer besonderen, unten angedeuteten Bedingung — zur Entzündung kommt. Auch der Braunkohlenbergbau kennt u. a. brennende Halden; so befinden sich solche in Böhmen in der Nähe von Königsberg bei Eger, bestehend aus dem p. 61 beschriebenen Cyprisschiefer. Auch Halden schlechter Braunkohle, die aus irgendwelchen Gründen mitgefördert wird, entzünden sich häufig. In vielen Fällen, so in dem Fall, den GOETHE im Auge hat, ebenso in dem von Eger, handelt es sich um einen Sapropelit. Gesteine dieser Art können technische Schwierigkeit bereiten, wenn man nicht berücksichtigt, daß sie bei loser Packung sich entzünden können. Auf einer Bahndammstrecke, gerade an der Stelle, wo ein Bahnhof erbaut wurde und ein fossiles Faulschlammgestein als Baugrund aufgeschichtet worden war, entwickelte sich infolgedessen ein Erdbrand, der sehr störend war, denn brennende Halden sind wegen des von ihnen ausgehenden beizenden Qualms eine Kalamität der Umgegend, da man den Brand oft nur sehr schwer löschen kann. Gelegentlich sammeln sich auch im Innern solcher Halden Gase an, die sich plötzlich unter Explosion entzünden und Gesteinstücke in die Luft werfen können.

Ihrer Entstehung nach mit den Haldenbränden verwandt sind die im Bergbau so gefürchteten Brände von Kohlenlagern. An der Tagesoberfläche merkt man zuweilen nichts davon, da die Steinkohlenlager in der Regel — wenigstens in Europa — durch Tiefbau gewonnen werden. Bei Décazeville in Frankreich, wo sich Steinkohlentagebauten befinden, d. h., wo die Steinkohle zum Teil ohne Tiefbauschächte

gefördert wird, befinden sich jedoch brennende Stellen, die durch fortgesetztes Qualmen und Rauchen höchst lästig sind; nichtsdestoweniger wird in diesen Tagebauten ständig weiter gearbeitet. Weit schlimmer — wenigstens für die betroffenen Steinkohlengruben — sind Brände in Tiefbauten. An Löschen ist hier oft gar nicht zu denken; man ist dann gezwungen, den ganzen brennenden Teil durch sorgfältigste Abmauerung von der Luft abzuschließen, wodurch das Feuer schließlich in sich selbst erstickt. Nach Jahren kann man dann versuchen, den Teil wieder freizulegen und die noch übrige Kohle zu gewinnen; oft aber ist ein brennender Teil einer Grube für den Steinkohlenbergbau überhaupt verloren, indem bei Luftzutritt der Brand von neuem ausbrechen kann. Solche brennenden Kohlenlager sind in fast allen Kohlenrevieren bekannt geworden, in Amerika (Pennsylvanien), im Ruhrrevier, im Zwickauer Revier usw. Die Entstehungsweise dieser Brände ist im Prinzip die gleiche wie bei Kohlenstapeln, die an der Tagesoberfläche aufgehäuft sind. Noch vor einiger Zeit war in einer Berliner Gasanstalt ein solcher Kohlenstapel in Brand geraten, und der sich entwickelnde Qualm belästigte die Umgebung weithin. Auch hier half kein Löschen, weil sich das Wasser bei der sehr großen Hitze, die sich entwickelt, in seine chemischen Elemente, Sauerstoff und Wasserstoff, zersetzt und dann dem Feuer nur neue Nahrung gibt, anstatt es zu ersticken. Man war gezwungen, den ganzen Stapel abzutragen. Steinkohle und die meisten Kohlen, an der Luft aufbewahrt, oxydieren sich eben langsam und verlieren dadurch an Wert; man sucht daher hier und da neuerdings wertvolle Kohle unter Wasser zu lagern.

In Steinkohlenrevieren sieht man gelegentlich Dampf und Qualm dem Boden entsteigen; es handelt sich um Bruchlandstellen, unterhalb deren die durch den Bergbau geschaffenen Hohlräume zusammengestürzt sind. Die Reste der Kohlenlager und die organischen Material enthaltenden Zwischenmittel sind in Brand geraten und lassen wie die Fumarolen vulkanischer Gebiete Rauch und Dampf durch die im Bruchlande gebildeten Spalten und Klüfte an die Oberfläche treten.

Die Bedingungen zur Entstehung von Halden- usw. Bränden sind noch nicht hinreichend befriedigend erforscht.

Früher schrieb man die Selbstentzündung der Kohle dem vielfach darin enthaltenen Schwefelkies zu, da er sich an feuchter Luft ziemlich rasch zersetzt. Heutzutage schiebt man vorwiegend die Schuld der in der Steinkohle sehr häufigen Holzkohle zu. Diese mineralische Holzkohle hat die gleichen Eigenschaften und das gleiche Aussehen wie die künstliche, durch Meilerbrand gewonnene; sie ist demgemäß sehr porös. Sie gestattet also dem Luftsauerstoff eine weitgehende Zirkulation in der Steinkohle und hat wie die künstliche Holzkohle die Eigenschaft, Gase in sich zu verdichten, wodurch die Wirkung des Sauerstoffs noch

intensiver werden muß. Es gibt Steinkohlenflöze, die zum großen Teil aus solcher Holzkohle („Rußkohle“) bestehen, wie das „Rußkohlenflöz“ in Zwickau; auch bei Commentry in Frankreich findet sich ein solches Lager. — Es ist allerdings zu beachten, daß auch Kaustobiolithe ohne Holzkohlengehalt wie die schon erwähnten Sapropelite sich selbst zu entzünden vermögen.

Holzkohle oder, allgemeiner und besser gesagt, verkohlte Substanz (in der Literatur auch Faserkohle, faseriger Anthrazit, Fimme, mineralische Holzkohle, Moorkohle, Ruß und Rußkohle, gelegentlich auch schwarzer Rahm genannt) findet sich sehr häufig in allen Humus-Kaustobiolithen, aber auch, wenngleich seltener, in Sapropeliten. Über ihre Entstehung vergl. vorn p. 16 u. 17. Wo man, wie in manchen Braunkohlen und Torfen, sogar noch Asche dabei findet, geht daraus hervor, daß es sich um eine — vielleicht durch Blitzzündung — hervorgerufene Brandstelle in dem fossilen Moor handelt. Ich lasse es hier dahingestellt, ob an anderen Fundorten von verkohlter Substanz diese nicht auch in anderer Weise entstanden ist, etwa durch Dehydratisation vermittels in Wasser gelöstem H_2SO_4 oder durch Selbstentzündung der Urmaterialien. Selbstentzündung bereits fertiger Kohle liefert Koks, soweit die Kohle nicht verbrennt. Die viele Holzkohle in carbonischer Steinkohle verdient besondere Beachtung; sie ist dort häufiger als in den rezenten Torfen und in Braunkohle. Das „Rußkohlenflöz“ im Revier von Zwickau zeichnet sich durch einen lagenweisen, schnellen Wechsel von (inkohlter) Humus-Glanzkohle und verkohlter Substanz aus. Sollten hier periodische Brände angenommen werden müssen? Sollte überhaupt im Carbon Blitzzündung eine generelle Erscheinung gewesen sein?

Es ist, um die Verschiedenheit der Carbonkohlen vom Torf, mindestens vom aschenreicheren Flachmoortorf und ihre vielleicht hier und da vorhandene Zugehörigkeit zum Hochmoortorf zu begründen, auch auf die Abnahme des Aschengehalts in vielen älteren Kohlen hingewiesen worden. Nächstliegend ist allerdings die Annahme, daß sich bei der weiteren Selbstzersetzung die Asche anreichern müßte, so daß es bei der Annahme der Carbonkohlenbildung wesentlich aus Flachmoortorf umgekehrt sein sollte als eben angegeben, d. h. je älter die Kohlen sind, um so aschenreicher müßten sie danach sein. Hier gibt wiederum das Studium der rezenten Verhältnisse Aufschluß. VIKTOR ZAILER und LEOPOLD WILK wiesen nach (1907 p. 49 ff.), daß, obwohl die Aschenmengen der torfbildenden Pflanzen voll und ganz in den Torf übergehen, man dennoch Torfe antrifft, die weniger Asche enthalten „als ihnen nach ihrer botanischen Zusammensetzung und dem Aschengehalte ihrer Konstituenten eigentlich zukommen sollte“. So stagnierend — wie man das wohl gemeinhin annimmt — ist das Wasser in Torflagern eben nicht: es findet vielmehr

im Verlaufe der Zeit langsam und stetig eine Auslaugung, d. h. Fortführung der anorganisch-mineralischen Teile statt. Sehr lehrreich sind diesbezüglich die in Mooren gefundenen Leichen, deren Knochen ihre kalkigen Bestandteile verloren und so eine biegsame, elastische Beschaffenheit erworben haben. Solange noch eine bemerkenswertere Bergfeuchtigkeit in den Humus-Kaustobiolithen vorhanden ist, dürfte daher auch der Wasserwechsel durch Zirkulation und Diffusion in Ansehung der Zeit, die zur Verfügung stand, ein genügender zur Entlaugung gewesen sein. Sekundär allochthone Braunkohlen sind auffallend durchlässig für Wasser, ebenso wie in den feinen Rissen einer autochthonen oder primär allochthonen Kohle Wasser sich leicht bewegen, so daß in ihnen gegebenenfalls auch umgekehrt Mineralien (Kalkspat usw.) zum Absatz gelangen können. Bei der weiteren Zersetzung muß wohl ein langsames Zusammensinken und dabei leicht eine Ribbildung stattfinden, und kleine Rutschflächen, die die Kohlen oft zeigen, sind vielleicht oft damit in Zusammenhang zu bringen. Auf eine Zusammenziehung und daher Neigung zur feinen Spaltenbildung weisen auch die senkrecht zur ursprünglichen Horizontalen in Steinkohle vorkommenden, kaum haarbreiten, mehr oder minder kreisförmigen Spalten, „Augen,“ hin, die mit anorganischem Mineral (Kalkspat oder Schwefelkies) erfüllt sein können, das dann beim Zerschlagen solcher „Augenkohle“ (Kreiskohle) als feine, dünne Haut die Augen überziehend in die Erscheinung tritt. Jedenfalls erweisen solche Tatsachen die Möglichkeit einer Wasserbewegung in den Humus-Kaustobiolithen, also auch in den Humus-Kohlen.

Charaktere für Autochthonie und Allochthonie

Schon auf Grund der im vorausgehenden mitgeteilten Tatsachen haben wir stets angenommen, daß die Steinkohlenlager und überhaupt die ganz überwiegende Mehrzahl der fossilen Humuslager in demselben Sinne autochthon sind, wie die heutigen Moore; es zeigt sich bei der Untersuchung der Einzelfälle in der Tat, daß allochthone Kaustobiolithe gegenüber den autochthonen stets dieselbe untergeordnete Rolle gespielt haben: in jeder geologischen Vorzeit wie heute. Um das aber ordentlich beurteilen zu können, ist es zweckmäßig, die rezenten und fossilen Merkmale für die Allochthonie und Autochthonie miteinander zu vergleichen.

Der Aufbau der meisten Schwarzkohlen- und Braunkohlenlager, mit Berücksichtigung namentlich ihrer liegenden Gesteine, im Vergleich mit dem Aufbau der Flachmoore zeigt in den wichtigsten Punkten so auffallende Übereinstimmung, daß auch die Annahme einer gleichen Entstehung zwingend ist. Auch die Beschaffenheit der zu vergleichenden rezenten und fossilen Kaustobiolithe paßt in den Rahmen hinsichtlich

der Struktur (vergl. Figuren 6 und 28) und auch der chemischen Verhältnisse.

Ein starkes Gewicht zur Begründung der Allochthonie hat man vielfach auf die Tatsache gelegt, daß Steinkohlen so oft deutlich „geschichtet“ seien, die daher, wie man annahm, durch Sedimentation entstanden sein müßten. Moortorf, dessen Autochthonie wir zweifellos kennen, ist aber ebenso oft „geschichtet“. In Wahrheit handelt es sich aber gar nicht um eine durch Sedimentierung entstandene Schichtung, sondern um eine senkrecht zur Druckrichtung erfolgte Schieferung, die, wie wir p. 54 u. 67 gesehen haben, bei vielen Sapropeliten noch auffälliger ist. Vergl. auch das p. 107 angegebene Experiment, bei welchem Torf unter künstlich bewerkstelligtem hohem Druck sich geschiefert hatte. Diese für Schichtung angesehene Schieferung von Kohlen kann daher nicht zur Begründung ihrer Allochthonie ins Feld geführt werden.

Gewöhnlich erstrecken sich die Steinkohlenlager viele, in Amerika sogar Hunderte von Quadratmeilen weit in verhältnismäßig reiner Beschaffenheit. Das Pittsburger Steinkohlenlager in Pennsylvanien, Ohio und Virginien schätzt man bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 1,80 m auf einen Flächenraum von rund 25000 qkm (7000—8000 engl. □Meilen) ein. Wir vermögen auf Grund uns heute bekannter Vorkommnisse keine Vorstellung zu gewinnen, wie ein so ausgedehntes, gleichmäßiges Kaustobiolithlager und ebenso die anderen weitausgedehnten Steinkohlenlager durch Anschwemmung von transportiertem Pflanzenmaterial entstanden sein könnten, während wir sehr ausgedehnte autochthone Torflager heute kennen.

Sehr oft kann man nachweisen, daß unterirdische Teile von fossilen Pflanzen sich noch in dem Boden befinden, in welchem sie einst lebten, und diesen Boden möchte man seinem Ansehen nach versteinerte Humuserde nennen. Insbesondere findet sich im Liegenden der Steinkohlenlager meist ein Gestein, das die Wurzeln und die unterirdischen Organe der Pflanzen enthält, die die Moorbildung eingeleitet haben. Wenn man solchen Boden in Richtung der ursprünglichen Horizontalen durchschlägt, so sieht man horizontal verlaufende, zylindrische oder mehr oder minder plattgedrückte, stengel- oder stammförmige, wiederholt gegabelte Fossilien, die *Stigmarien*, die die unterirdischen Organe von Bäumen sind. Von den *Stigmaria*-Zweigen gehen radial zur Längsachse ausstrahlend Gebilde („Appendices“) ab, die man gewöhnlich bandförmig, gelegentlich aber auch noch in ihrer ursprünglichen Form zylindrisch erhalten, an dem Fossil gewöhnlich noch in der ursprünglichen Richtung abgehend angeheftet findet (Fig. 33). Das wäre unerklärlich, wenn solche *Stigmarien* nicht an Ort und Stelle gewachsen wären, d. h. dort, wo wir sie heute finden, in diesem selben Gestein, als es noch nicht verfestigt war; denn der anatomische Bau der Appendices, den wir genau

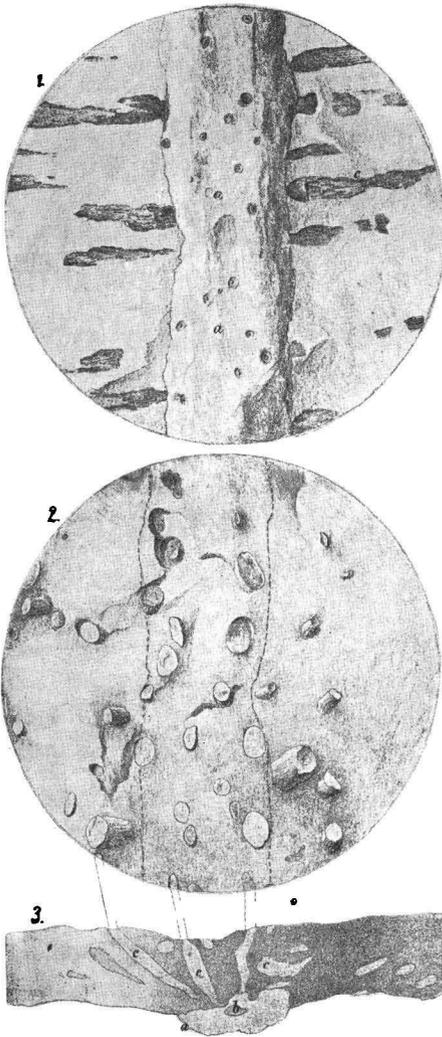


Fig. 33. *Stigmaria* mit nach allen Richtungen ausstrahlenden Appendices in $\frac{1}{3}$ der natürl. Größe. — 1. = *Stigmaria*-Hauptkörper a mit den kreisförmigen Narben, deren Appendices in dem abgedeckten Gesteinsstück stecken. Die in der Schichtungsfläche befindlichen Appendices c sind mehr oder minder bandförmig. 2. = Dasselbe Stück von der Unterseite, die querverbrochenen, noch zylindrischen Appendices der Unterseite von a zeigend, 3. = Dasselbe Stück von der Seite gesehen. a der *Stigmaria*-Hauptkörper mit dem Marksteinkern b; c die Appendices.

kennen (vergl. Fig. 58 A), macht es unmöglich, daß dieselben heute noch strahlig von dem Hauptkörper ausgehend das Gestein durchziehen könnten, wenn solche *Stigmarien* angeschwemmt worden wären. Wenn man sich das Objekt lebend vorstellt und aus dem Boden herausgezogen, so müßten die Appendices herunterhängen wie nasse Lappen, da sie anatomisch gar keine festen Gewebe aufweisen, die ihnen Halt zu verleihen vermöchten. Es ist das ein unwiderleglicher Beweis dafür, daß die *Stigmarien* des so gewöhnlichen *Stigmaria*-Bodens auch wirklich in dem Schiefertone gelebt haben, in dem wir sie heute finden. Instrukтив sind in der genannten Beziehung auch die intuskrustierten Kohlenlagerteile (s. unter Dolomitknollen). Man kann hier schön die Konstituenten der Steinkohlenlager studieren und sieht die Pflanzenreste von *Stigmaria*-Appendices stellenweise geradezu gespickt: sie sind durch die den Boden bildenden Überbleibsel der Pflanzen, als diese in Vertorfung begriffen waren, hindurchgewachsen. Durchaus analoge Verhältnisse bietet ein heutiger Röhrriichtboden, z. B. durchwuchert von Rhizomen von *Arundo phragmites*, vergl. Fig. 38, von denen die Wurzeln abgehen, die physiologisch den Appendices entsprechen.

Da die *Stigmaria*-Appendices das Gestein nach allen Richtungen hin, nicht nur in den Schichtenflächen durchdringen, so ist dasselbe sozusagen verfilzt, und es

ist so gut wie unmöglich, es in Richtung der ursprünglichen Horizontalen, der „Schichtungsflächen“ zu zerspalten. Der durch die „Verfilzung“ meist sehr zähe „Stigmarienschiefer“ zerschlägt sich vielmehr mit grobholperigen Bruchflächen und springt nach allen Richtungen auseinander, so daß man schon dadurch leicht auf ihn aufmerksam wird.

Stigmariaschiefer findet sich nun im Liegenden der ganz überwiegenden Mehrzahl der Carbon-Kohlenlager, als Hinweis darauf, daß die *Stigmarien* als unterirdische Organe zu dem Waldbestande gehörten, der die Moorbildung einleitete. Vielen Bergleuten sind diese zu *Stigmariaschiefern* gewordene *Stigmaria*-Böden längst bekannt und eine gewöhnliche Erfahrung: die Engländer nennen ihn *underclay* (Unter-Ton).

Ich muß zur Verstärkung der für die Annahme der Autochthone ausschlaggebenden Wichtigkeit des so gewöhnlichen Vorkommens von *Underclay* unter den Steinkohlenlagern ausdrücklich betonen, daß ich denselben selbst bei Besuchen von Carbon-Revieren in Neu-Schottland, in Gr.-Britannien, in Frankreich und in allen Revieren des Königreichs Preußen an Ort und Stelle überall und immer wieder beobachtet habe. Die vielen von mir untersuchten Carbon-Bohrungen haben mir zum Überdruß oft die Erfahrung des Vorhandenseins von *Stigmarien*-Böden unter den Kohlenlagen bestätigt. Man kann so je nach der Tiefe der Bohrung und der Anzahl der durchteuften Kohlenlager 100 und mehr *Stigmarien*-Böden übereinander beobachten. LYELL hatte schon 64 solcher übereinander angegeben (vergl. u. a. auch W. E. LOGAN 1842, POTONIE 1895, 1896).

Man muß sich aber zur richtigen Beurteilung der fossilen Vorkommnisse gegenwärtig halten, daß Wälder von Bäumen, selbst solchen, die nur im feuchten oder nassen Boden gedeihen, nicht immer die Entstehung von Mooren zur Folge haben. Es darf also nicht Wunder nehmen, daß sich sehr oft auch autochthone *Stigmarien* in Schichten finden, die von einem fossilen Waldmoor, einem Kohlenlager, nicht bedeckt werden.

Immerhin gibt das Vorhandensein autochthoner *Stigmarien* allein einen Wink dafür, daß die Bedingungen, die ja lange Zeiträume hindurch die gleichen geblieben sind, zur Entstehung eines Moores vorhanden waren. Wo es zu der Entstehung eines Moores nicht gekommen ist, haben nur die herzdringenden Sedimente die Ausbildung der Wälder zu Mooren verhindert und man muß dann natürlich mit der Möglichkeit rechnen, daß zeitweilig die Sedimentierung ganz oder so weit nachgelassen hat, daß einer ruhigen und stetigen Entwicklung der Vegetation zu einem Moore nichts im Wege stand.

Autochthone *Stigmarien* weisen demnach darauf hin, daß die Bedeckung dort, wo sie vorkommen, nur so allmählich und ohne wesentliche Änderung der für das Leben der carbonischen Waldmoorpflanzen

nötigen Bedingungen vor sich ging, daß Pflanzenindividuen Boden fassen konnten. Ein Anzeichen für die besonders langsame Sedimentierung in diesem Fall gibt auch die Tatsache ab, daß autochthone *Stigmarien* sich vorwiegend mit besonders grobem Häckselmaterial zusammen vorfinden. Das vorwiegende Vorkommen autochthoner *Stigmarien* in besonders feinen Schiefertonen spricht dieselbe Sprache.

Nur gelegentlich muß die Aufhäufung des herbeigeschwemmten Gesteinsmaterials, natürlich insbesondere des Sandes, ganz wesentlich schneller, förmlich als plötzlicher Einbruch erfolgt sein. So sah ich in einem Sandsteinbruch bei der Grube Maybach im Saarrevier (Schuckscher Steinbruch) mehrere senkrecht zu den Schichtungsflächen stehende Calamitensteinkerne bis zu 3 m Länge erhalten und zwar *Calamites Suckowi* (ohne jede sichtbare Verzweigung), deren Erhaltung auf diese Länge die eben gemachte Annahme erfordert. Ähnliche Fälle sind auch von vielen anderen Stellen her bekannt. Es muß doch hier die Bedeckung ziemlich schnell stattgefunden haben, so daß die ursprünglich hervorragenden Teile nicht Zeit hatten, vollständig zu verwesen. Freilich kann man in solchen Fällen auch an ein Längenwachstum gemäß der fortschreitenden Bedeckung denken, eine Eigentümlichkeit, die gerade Moorpflanzen auszeichnet.

LYELL, auf dessen Beschreibung der Mississippi-Driftpflanzen so viel Bezug genommen worden ist und noch wird, um die Allochthonie der Steinkohlen zu begründen, stand selbst diesbezüglich auf dem Boden der Autochthonie. Daß die von ihm und vor ihm von LOGAN mit scharfem Blick in ihrer Wichtigkeit für unsere Frage erkannten Eigentümlichkeiten der *Stigmarien*-Schiefer in der Folge so wenig gewürdigt worden sind, ist ein Zeichen dafür, wie wenig die häufigsten palaeobotanischen Vorkommnisse bekannt sind und wie wenig palaeobotanisches Wissen überhaupt auch in den Kreisen, die es nicht entbehren können, doch tatsächlich verbreitet ist, und doch haben die genannten, erfahrenen Autoren und andere lange auf die jedem Steinkohlen-Bergmann als alltägliche Erscheinung bekannten *Stigmaria*-Böden unter den Kohlenlagern hingewiesen, so auch v. DECHEN (1823), und NAUMANN stellt (Geognosie II, 1854, p. 545 ff.) alles Wesentliche damals Bekannte über solche Böden und fossile Wälder gut zusammen, und das könnte durch die seitdem erschienene Literatur reich gemehrt werden. Man vergl. auch LYELLS Geologie. Ferner sei RICHARD BROWN genannt.

Waldböden, die noch mit Baumstümpfen besetzt sind, sind häufig sowohl in der Steinkohlen- wie auch in der Braunkohlenformation aufgedeckt worden. In Whiteinch bei Glasgow ist ein solcher Boden, der erstgenannten Formation angehörig, als Naturdenkmal erhalten geblieben (Fig. 34), und im Senftenberger Revier (Niederlausitz) kommen beim Abbau der Braunkohlen imponierende Flächen mit Baumstümpfen zutage

(Fig. 35). In beiden Formationen waren es Waldmoore, die während der ganzen Dauer der Humusbildung bewaldet geblieben sind.



Fig. 34. Aufgedeckter Waldboden des produktiven Carbons mit Baumstümpfen von Lepidophlyten, die unten in „Stigmarien“ ausgehen. Victoriapark bei Whiteinch bei Glasgow. — (Nach JOHN YOUNG u. GLEN.)

Wie bei den fossilen Humuslagern, so treten die untergegangenen Moorwälder auch in den rezenten Mooren nur in Profilen und klar auch nur in Aufdeckungen in die Erscheinung. In beiden Fällen haben wir

dann aber dasselbe Bild eines Waldes von kurzen Baumstümpfen (Fig. 36), bei Torflagern, insbesondere in ihrem Liegenden, als Beweis, daß diese Lager wenigstens in ihren ersten Stadien aus Wäldern hervorgegangen sind. Andere Moore besitzen Baumstümpfe bis zu ihrer oberen Fläche,

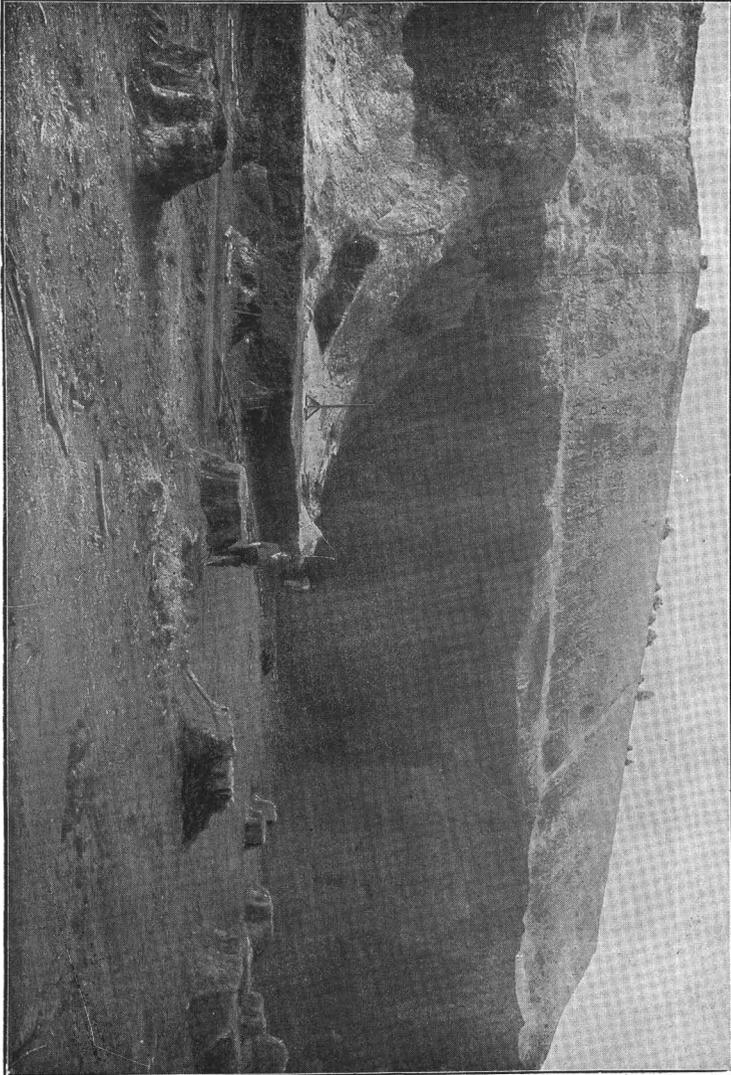


Fig. 35. Blick in eine Braunkohlengrube (Tagebau) des Senftenberger Reviers.
 b) Boden des abgebauten Teiles des Kohlenlagers, das bei k im Profil als Wand ansteht; d) Decke des Lagers aus Sand und Ton.

wie das Braunkohlenlager des Senftenberger Reviers, in welchem miocäne Braunkohle abgebaut wird. Das mächtige Kohlenlager gibt sich schnell als ein fossiles Swamp, also als ein fossiles Waldmoor zu erkennen, und da sogar einer der Hauptbäume in dem erwähnten fossilen Swamp und in den rezenten Sumpfmoores (Swamps) des atlantischen Nordamerika ein



Fig. 36. Torfstich bei Triangel in der Lüneburger Heide. a) Profil durch Flachmoorwaldtorf mit Baumstümpfen, b) durch Hochmoortorf ohne Stümpfe. Vor b und rechts davon der Hochmoortorf abgebaut, so daß der letzte Flachmoorwald c in Stümpfen zutage tritt. Hinten Hügel aufgeschichteter Hochmoortorfsoden.

und dieselbe Spezies (*Taxodium distichum*) ist, ist die Übereinstimmung noch überraschender. Wie in den rezenten Swamps mehrere Waldgenerationen übereinander an den in bestimmten Horizonten im Humus eingebetteten, übrig gebliebenen aufrechten Baumstümpfen zu erkennen sind, ganz genau ebenso ist es bei dem in Rede stehenden Braunkohlenlager mit dem einzigen Unterschiede, daß der Humus zu Braunkohle geworden ist. Im Liegenden des Lagers und im Hangenden, sowie mitten in demselben ist an zahlreichen und meist mächtigen, zuweilen mehrere Meter Durchmesser zeigenden bewurzelten Baumstümpfen der Rest der alten Wälder noch vorhanden. Die gegenseitigen Entfernungen der Stümpfe voneinander entsprechen denjenigen, wie sie der Kampf ums Dasein im Urwalde schafft (Bilder bei POTONIÉ 1895 (1896) und Lehrbuch 1899 p. 338—345). Kurz alle Erscheinungen, die das Kohlenlager bietet, entsprechen dem von den rezenten Swamps her Bekannten. Bei der Eigentümlichkeit von *Taxodium distichum*, die benadelten „begrenzten“ Sprosse entgegen dem sonstigen Verhalten der Koniferen alljährlich abzuwerfen, ist der Humus reichlich vermehrt worden. Die Stümpfe sind alle bis zu einer bestimmten Höhe verbrochen, teils dadurch den ehemaligen Wasserstand anzeigend (der über das Wasser hinausragende Teil war durch den Einfluß der Atmosphäre hinfalliger als der unter Wasser befindliche), teils die Höhe bezeichnend, bis zu der die Torfbildung noch gediehen war, bevor die abgestorbenen Stämme vollständig der Verwesung anheimgefallen waren. Horizontal liegende Baumreste, Stammstücke, gelegentlich bis zu einer Länge von über 20 m, geben Kunde von den gestürzten Teilen der Riesen, die durch die schnellere Einbettung, in die sie durch ihren Sturz gelangt waren, erhalten geblieben sind.

Auch der Steinkern des Fig. 61 abgebildeten Stammstumpfes aus der Steinkohlenformation stand wie auch andere in seiner Nähe gefundene senkrecht zu den Schichtungsflächen des abgelagerten Gesteins. Der Wald, den unser Riese bilden half, müßte also bis zu einer gewissen Höhe von Schlamm überdeckt worden sein: in manchen Fällen allmählich eingebettet, in anderen aber durch mehr plötzlichen oder schnellen Schlammeinbruch. Solche Waldreste aus Stammstümpfen sind im Carbon, namentlich im unmittelbaren Hangenden der Kohlenlager als die letzten Zeugen des einstigen Waldmoores, wie gesagt, häufig zu beobachten. Der englische Bergmann nennt sie coal-pipes (Kohlenpfeifen), der französische nach ihrer häufigen Kirchenglockenform cloches, der deutsche Sargdeckel, da sie leicht aus dem Hangenden einer abgebauten Kohlenlagerpartie herniederstürzen und so schon oft Unglück angerichtet haben. Die in Rede stehenden Steinkerne tragen nämlich außen noch eine aus dem resistenten Hautgewebe hervorgegangene Kohlenrinde, die eine leichte Lockerung des Steinkerns aus dem umgebenden Gestein bedingt.

Gelegentlich bestehen die Steinkerne aus anderem Gesteinsmaterial als die Umgebung. Das läßt sich nur durch die Annahme erklären, daß es sich um einen autochthonen Stumpf handelt, der nach und nach ausfallend erst, nachdem eine aufnahmefähige Höhlung vorhanden war, Sediment aufnehmen konnte; wenn außen Sediment von anderer Zusammensetzung bereits abgesetzt worden war, so muß der Steinkern dann natürlich aus anderem Material bestehen.

Nach einer von SORBY (1875) gegebenen Nachricht über einen bei Wadsley (Sheffield) beobachteten Sonderfall zeigen die unterirdischen Organe (Stigmarien) der Stümpfe eines solchen Carbonwaldes die Eigentümlichkeit, daß die nach Westen gerichteten Stigmarienzweige horizontaler gerichtet sind als die nach Osten gewendeten Zweige, die mehr in die Tiefe dringen, und dies ist mehr oder weniger deutlich der Fall bei allen Stümpfen des in Rede stehenden Carbonwaldes. SORBY vergleicht das mit derselben Erscheinung an rezenten Waldmoorbäumen, wo eine herrschende Windrichtung gleiches bewirkt; sie wäre dann in dem fossilen Waldmoor von Westen nach Osten anzunehmen. Man findet die angegebene Ausbildung der unterirdischen Organe an den rezenten Waldmoorbäumen natürlich nur da, wo sie ständig dem Winde ausgesetzt sind. Auch vom Winde niedergelegte und daher mehr oder minder parallel gelagerte Baumstämme sind in Torflagern gelegentlich zu sehen, ebenso wie in Braunkohlenlagern. So sah ich einmal einen schönen Windwurf paralleler großer Stämme in der Grube Ilse des Senftenberger Reviers. In der Steinkohle selbst sind bei der zu weit fortgeschrittenen Zersetzung solche Beobachtungen kaum mehr möglich.

Außer bei den *Lepidophyten* mit ihren *Stigmarien* kann man auch bei anderen Steinkohlenpflanzen die besprochene Erscheinung beobachten, z. B. bei den Rhizomen der *Calamariaceen*, deren Wurzeln („*Astromylon*“) zuweilen ebenso wie die Appendices autochthoner *Stigmarien* noch wie zu Lebzeiten direkt nach mehreren Seiten im Gestein verlaufen (vergl. Fig. 60).

Die *Calamariaceen* bildeten Röhrichte, und solche, wenn auch aus anderen Pflanzenarten, gibt es, wie wir p. 35, 36 sahen, auch heute. Man findet daher auch Röhrichtböden in den geologischen Formationen vom Palaeozoicum ab an Häufigkeit zunehmend bis heute; während Waldböden, zu denen die *Stigmaria*-Böden gehören, als Liegendes von Mooren stets häufig gewesen sind.

Mesozoische, kaenozoische (Fig. 37) und heutige Röhrichtböden (Fig. 38 und 39) sind dadurch ausgezeichnet, daß die Wurzeln der horizontal in diesen Böden oder in dem unmittelbar überlagernden Humusgestein verlaufenden Stengelorgane (Rhizome) parallel zueinander senkrecht zu den Schichtungsflächen verlaufen. In solchen Fällen haben wir es als Veranlasser der Moorbildung mit Röhrichtbeständen zu tun,

unter denen heute, insbesondere bei uns, das Schilfrohr (*Arundo phragmites*) eine hervorragende Rolle spielt als erstes Stadium von Sumpfmoorbildungen (vergl. vorn p. 36). Bei der Lakunosität der Röhrichtwurzeln — das ist überhaupt eine Eigenart von Sumpf- und



Fig. 37. Röhrichtboden a unter einem Braunkohlenlager b. Grube bei Teuchern (in der Provinz Sachsen). c ist eine Strosse auf dem Röhrichtboden; einzelne Stücke des Bodens liegen auf der Strosse. (Nach einer zur Verfügung gestellten Photographie.)

Wasserpflanzen — ist oft nur das resistendere Hautgewebe übrig und der ganz hohl gewordene Innenraum anderweitig ausgefüllt, so z. B. mit Sand. Ähnlich wie Waldböden (p. 115), so befinden sich aber natürlich nicht Röhrichtböden stets nur unter rezenten oder fossilen Humuslagern, sondern sie können auch ohne Begleitung eines Kaustobioliths vorkommen oder die hangende Partie eines Kaustobiolithlagers sein. Hier haben wir dann auch unmittelbar vor der Beschüttung des Moors mit allochthonem Sediment einen Röhrichtbestand gehabt.

Sehen wir nun auch, daß es sich namentlich da, wo fossiler Humus in Form von Schwarzkohlen- und Braunkohlenlagern vorkommt, allermeist um autochthone Bildungen handelt, so gibt es doch auch eine große Anzahl von Fundstellen fossiler Pflanzen, die durchaus allochthon sind. Bei der Betrachtung von Pflanzenfossilien einer bestimmten Lokalität sollte die Frage nach der Autochthonie oder Allochthonie der Reste

stets ventiliert werden, weil es von der Beantwortung dieser Frage abhängt, inwieweit ein Vorkommen mit einem anderen vergleichbar ist oder nicht, und eine vorausgehende Klarheit in der Sache davor schützt, Ähnlichkeiten, die nur durch den Erhaltungszustand der Reste bedingt sind, etwa bei Parallelisierungen ins Feld zu führen, und umgekehrt einen

Fundpunkt, der nur autochthone Reste birgt, als geologisch verschieden von einem andern, der nur allochthone Reste enthält, anzunehmen, nur weil hier die Erhaltungszustände andere sind und so bei Nichtbeachtung dieses Verhaltens dazu verführen, eine ganz andere Flora zu erkennen.

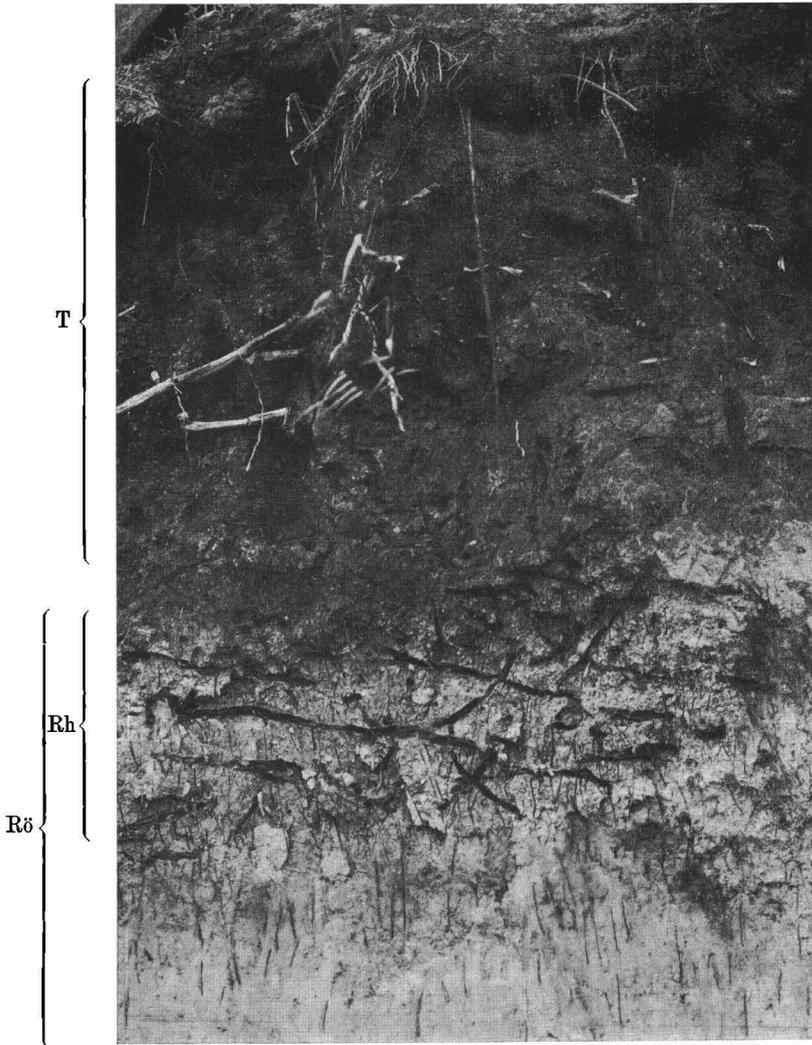


Fig. 38. Rö = Röhrichtboden mit *Arundo phragmites* unter einem Torflager T in Gr.-Lichterfelde bei Berlin. Aufgeschlossen gewesen beim Bau des Teltow-Kanals. Auch die mehr oder minder horizontal verlaufenden Rhizome (in dem Teil Rh des Profils), von denen die Wurzeln ausgehen, treten hier auffällig hervor.

In autochthonen Bildungen erhalten sich auch zartere Reste, z. B. spreitige Farnwedelteile, die in allochthonen Bildungen fehlen oder doch gelegentlich nur in kleinen Fetzen auftreten. Schon daraus — bei der

Wichtigkeit der im Palaeozoicum so zahlreichen Farnarten — geht hervor, daß Listen mit Angabe der Pflanzenreste zweier verschiedener, aber ein und demselben Horizont angehörender Fundpunkte, wenn der eine autochthone, der andere hingegen allochthone Reste birgt, ganz verschieden ausfallen müssen und nur dann ein Resultat über Ähnlichkeit oder Verschiedenheit beider Floren gestatten, wenn die Erhaltungszustände und Zusammengehörigkeiten der in Frage kommenden Reste bekannt sind. Da wir aber diesbezüglich noch in den Anfängen stecken und überdies verschiedene Arten gleiche oder doch fossil ununter-

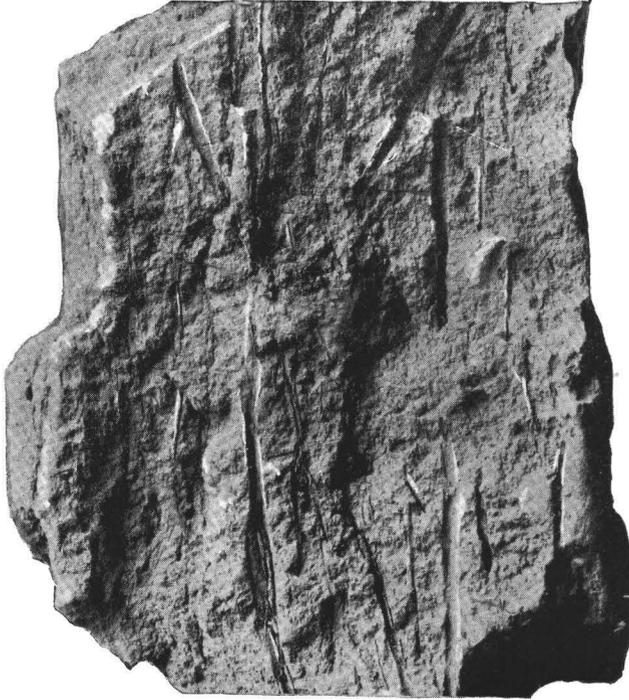


Fig. 39. Sapropel-Kalk als Röhrichtboden. Aus dem Liegenden des Torflagers Fig. 38. $\frac{1}{1}$.

scheidbare Erhaltungszustände besitzen (*Knorrien* können z. B. zu *Lepidodendraceen*, *Bothrodendraceen*, *Sigillariaceen*, ja sogar zu Farnstämmchen gehören), so erhellt die Schwierigkeit des Vergleichs selbst dann, wenn wir in den zu vergleichenden Fällen nur allochthone Bildungen zur Verfügung haben, da gleiche Erhaltungszustände auch gleichen Bildungen entsprechen und gerade die allochthonen Reste naturgemäß ramponierter auftreten und hier gleiche Erhaltungszustände verschiedener Arten häufiger sind.

Wo Kohlenlager vorkommen, handelt es sich allermeist um autochthone oder doch nur wenig durch die einbrechenden Wasser verschwemmte

Pflanzeneinschlüsse in dem begleitenden Gestein, das die Reste (namentlich das hangende Gestein) oft wie in einem Herbarium eingebettet zeigt. Wenn sich z. B. in Tonschiefern schöne (inkohlte) Farnwedel fast ohne Beschädigung ausgebreitet finden, kann es sich nur um an Ort und Stelle oder dicht bei der Heimatstelle eingebettete Reste handeln als Anzeichen der letzten Vegetation, die das nunmehr fossile Moor bekleideten. Gut erhaltene Wedelreste usw. kommen aber nicht etwa konstant im Hangenden von Kohlenlagern vor; vielmehr ist es nach der ganzen durch die Tatsachen bestätigten Theorie der Autochthonie der wesentlichen Kohlenlager selbstverständlich, daß auch im Hangenden wieder *Stigmaria*-Schiefer usw. und wenige oder keine Wedelreste vorkommen können, wenn nämlich nach schwacher Sedimentierung und darauf eingetretener Ruhe wieder ein Wald erwachsen konnte oder im anderen Fall, wenn die eintretende Überschwemmung mechanisch so stark wirkte, daß die in die Luft ragenden Pflanzenteile fortgenommen wurden: ganz in Übereinstimmung wie in den gleichen Fällen bei unseren rezenten Mooren. Wo aber größere Blattspreitenteile vorhanden sind, so namentlich gegliederte Farnwedelreste, die bei ihrer Zartheit einen längeren Wassertransport nicht ohne wesentliche Zerstörung vertragen, da ist der positive Beweis für eine Einbettung an Ort und Stelle oder so gut wie an Ort und Stelle gegeben.

Denn bei einem Transport von Pflanzenteilen findet eine Zerkleinerung zu natürlichem Häcksel oder mindestens eine Deformierung statt durch die mechanischen Insulte, die durch das Anstoßen an Ufer, Küsten, das Anstoßen der Schwemmstücke aneinander und durch die Wasser- (Wellen-) Bewegung verursacht werden. Als Häcksel bezeichnen wir das dabei zerkleinerte Material, und zwar besitzen die einzelnen Stücke untereinander etwa gleiche Größe: sie sind kleiner, wenn die mechanischen Insulte ständiger wirken konnten, größer bei geringerer Inanspruchnahme. Natürlich kommt außerdem die Festigkeit der verschwemmten Teile in Betracht. Die bekannten zahlreichen Baumstämme aus Mittelamerika, die der Golfstrom an Küsten Nordeuropas absetzt, gehören in paläobotanischem Sinne zum Häcksel (Fig. 40).

Aber auch hier ist bei der Beurteilung Vorsicht vonnöten. Denn Humus (Moder, Torf) und Sapropel können, auch wenn sie autochthon sind, aus kleinen, untereinander etwa gleich großen Organismenteilen zusammengesetzt sein, sei es, daß von vornherein, wie im Sapropel, durchschnittlich kleine Organismen zu den Urmaterialien gehören, sei es, daß der Zersetzungsprozeß das meiste homogen zersetzt hat, wie in alten Torfen, sei es, daß Tiere, wie Regenwürmer, für eine Zerkrümelung gesorgt haben, wie in Moderbildungen.

Es bedarf keiner näheren Begründung, daß eine Stranddrift, wie die Fig. 40 abgebildete, keine ordentlichen Kaustobiolithlager ergibt.

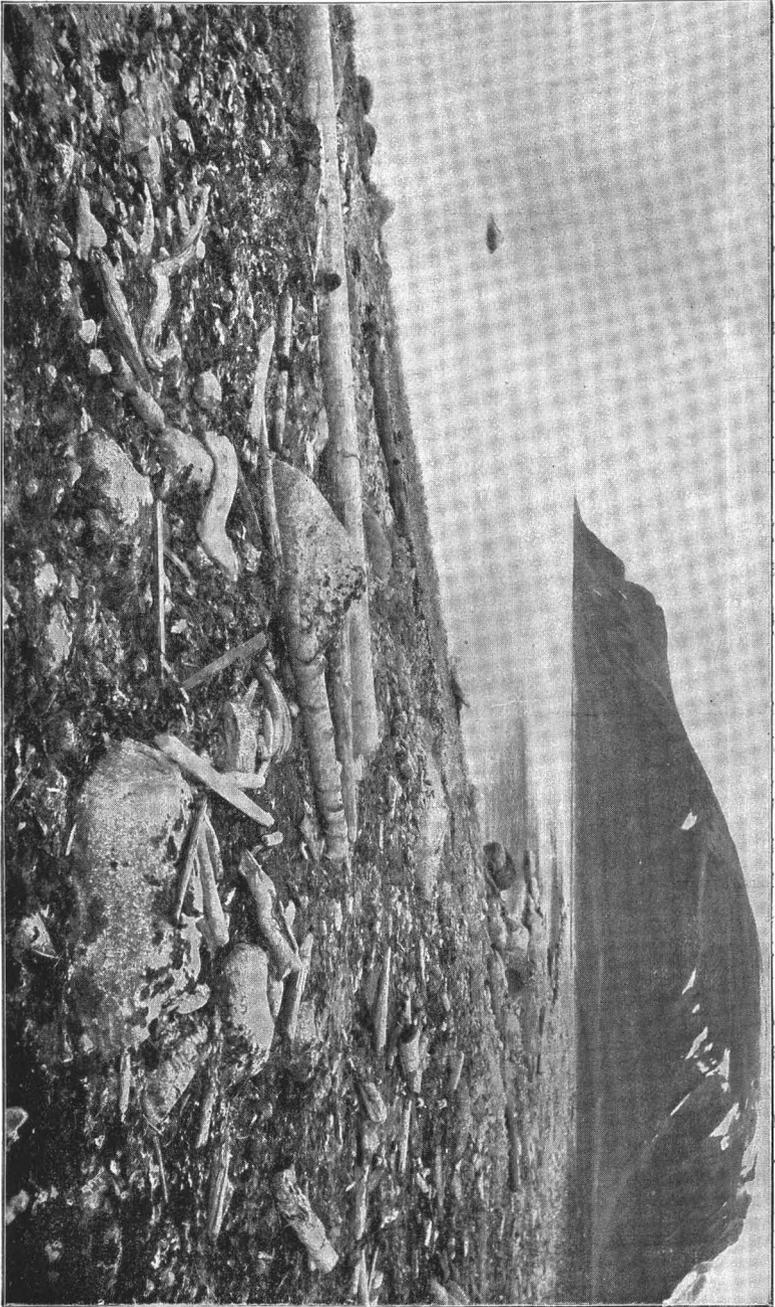


Fig. 40. Treibholz-Stranddrift auf der Amsterdam-Insel. (Nach einer von Hrn. Prof. A. G. NATHORST angefertigten und mir freundlichst überlassenen Photographie).

Auf ein eventuell fossiles (triadisches) Vorkommen von pflanzlicher Stranddrift macht E. PHILIPPI (1898) aufmerksam. Er beschreibt das Vorkommen von *Trigonodus*-Dolomit am Hühnerfeld, in dem er eine Lage



Fig. 41. Tang-Strand-Drift auf Helgoland. (Photographie, die ich Herrn Prof. P. KOCKUCK verdanke.)

„einer eigentümlichen humösen, teilweise sehr lockeren Masse, die beim Angraben einen eigentümlichen Geruch ausströmt“, angibt. Die in Verbindung mit diesem Humuslager auftretenden Muschelreste weisen darauf hin, daß man es in den in Rede stehenden Schichten wohl mit einer



Fig. 42. Fossiler Parallel-Häcksel in culmischem Grauwacken-Schiefer aus dem Magdeburgischen. Natürl. Größe.

Strandbildung zu tun hat, und so glaubt PHILIPPI in der humosen Schicht „eine Anhäufung von Tangen erblicken zu dürfen, wie wir sie am Strande ja so häufig zu sehen Gelegenheit haben“. Es ist zuzugeben, daß hier eine fossile Stranddrift vorliegen könnte, wenn auch die Tangnatur der Reste, die sie zusammensetzen, noch näher zu begründen wäre.

Vielleicht handelt es sich in dem Unter-Devon-Kohlenlager oder besser -Schmitz von Neunkirchen in der Eifel aber in der Tat um Tangalgenkohle, entstanden ähnlich wie vom Sande eingebettete Tangstranddrift (Fig. 41) auf Helgoland und der Bretagne (s. POTONIÉ, Saproelite 1908 p. 168). Das hangende Gestein des kleinen Neunkirchener Kohlenlagers ist nämlich dicht durchsetzt mit *Haliserites Dechenianus*, einem Fossil, das wohl mit Recht als ein Tang angesehen wird.

Sind die Häckselbestandteile noch so groß erhalten, daß sich noch eine Längs- und Querrichtung deutlich unterscheiden läßt, sie im Durchschnitt z. B. Stücke von 3—5 cm Länge und 0,5 cm Querdurchmesser bilden, so kann man oft noch auffallend die Richtung, welche einst der einbettende Wasserlauf genommen hat, dadurch erkennen, daß diese Stücke alle im großen und ganzen parallel zueinander liegen. Solcher fossiler Parallelhäcksel (Fig. 42) darf nicht mit ebenfalls parallel laufenden Röhrichtwurzeln verwechselt werden. Aber die Gefahr ist nicht groß: liegt doch der Häcksel auf den Schichtungsflächen, während die Wurzeln senkrecht dazu verlaufen. Wo Parallelhäcksel in der angegebenen Hinsicht verwertet werden soll, ist zu erwägen, ob er am Wasserrande oder inmitten eines fließenden Wassers abgelagert wurde. Im letzteren Fall liegt er durchschnittlich in Richtung der Strömung, im ersten Fall senkrecht zur Stoßrichtung des Wassers: die antreibenden Häcksel-Elemente legen sich parallel zur Uferlinie, weil sie mit einem ihrer Enden anstoßend umgelegt werden. Auf den Strand geworfen liegt aus gleichem Grunde der Häcksel parallel zur Uferlinie. (Vergl. Fig. 43.)

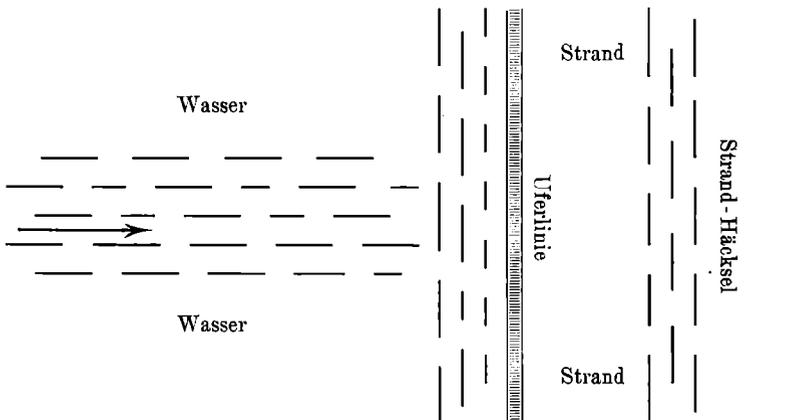


Fig. 43. Schematische Darstellung der Lagerungsrichtung von Häcksel (---) zu der von dem Pfeil angegebenen Stoßrichtung des Wassers.

Selbstverständlich können auch autochthone Kaustobiolithlager direkt von Sedimenten mit (allochthonem!) Häcksel bedeckt sein, wenn nämlich mit dem Sediment Pflanzenreste von weiter her mitgeführt werden: wiederum ganz entsprechend Vorkommnissen auf unseren rezenten (autochthonen!) Flachmooren.

Die Allochthonie charakterisiert sich naturgemäß durch die Spärlichkeit botanisch bestimmbarer Pflanzenreste, durch das vergleichsweise häufige Vorkommen stamm- und stengelförmiger Steinkerne, die zwar noch eine inkohlte Rinde aufweisen, deren Oberflächenskulptur jedoch gewöhnlich so vollständig verwischt und zerstört ist, daß auch nicht einmal eine annähernde Bestimmung möglich ist, und daher im Carbon durch das überwiegende Vorkommen der Lepidophyten-Stammreste als *Knorrien*, deren oft noch vorhandene Kohlenbedeckung die Oberflächenskulptur ebenfalls meist nicht mehr erkennen läßt, durch das fast vollständige Fehlen von Stigmarien, die in autochthonen Carbonbildungen mit Lepidophyten niemals in körperlicher Erhaltung und mit allseitig ausstrahlenden Appendices fehlen, ja hier sogar die gemeinsten Fossilien sind, während dort, wo es sich um Allochthonie handelt, nur gelegentlich Stigmarienhauptkörper und oft nur epidermale Fetzen derselben mit einzelnen Narben zu finden sind. So im mitteldeutschen Culm.

Es sind überhaupt ganz allgemein Reste von solchen Organen, die unterirdisch lebten, in zusammengeschwemmten Massen seltener; denn solche Organe werden naturgemäß erst dann mittransportiert werden können, wenn sie an ihrer Ursprungsstelle ausgewaschen worden sind, während die oberirdischen Organe und Organkomplexe und die von diesen abgefallenen Teile das wesentlich dem Transport verfallende Material bilden müssen. Aus dieser Überlegung ergibt sich ohne weiteres, wie hinfällig gelegentlich früher ausgesprochene Zweifel an der organischen Zusammengehörigkeit der Stigmarien mit den Lepidophytenstämmen sind, die sich auf das oft nicht Zusammenvorkommen beider gründeten. Ja ein vermeintlicher Trumpf wie die in der älteren Literatur vorhandene Äußerung: die Stämme von Bäumen könnten doch nicht fossil in einem Revier vorkommen, deren unterirdische Organe in einem sehr weit abliegenden Revier zu Hause sind, ist nur durch das Versehen möglich, nicht bei jeder Ablagerung die Entscheidung zu versuchen, ob Allochthonie oder Autochthonie vorliegt. Überdies kann man in der unmittelbar hangenden Schicht eines Kohlenlagers im allgemeinen nicht die unterirdischen Organe zu den Pflanzenarten erwarten, die hier eingebettet sind, da sich die unterirdischen Teile zersetzt im Kohlenlager selbst finden. Ist die Fragestellung aber einmal als prinzipiell wichtig anerkannt, so wird man sich nicht mehr wundern, in geologisch ganz gleichalterigen und floristisch gleich zusammengesetzten Ablagerungen einmal massenhafte Stigmarien, ein andermal kaum solche oder gar keine zu finden.

Wie wichtig es für die Beurteilung allochthoner und autochthoner Floren ist, die Erhaltungszustände zu kennen, mag ein Beispiel erläutern.

In der Literatur wird die vorculmische Landflora als eine solche angegeben, die Culmcharakter habe. Diese Anschauung ist durch die Verkennung ähnlicher bloßer Erhaltungszustände ganz verschiedener Pflanzen entstanden. Wenn man nämlich diese Zustände als besondere „Arten“ aufführt, wie das bisher leider fast immer geschehen ist, so kommt freilich ein ganz verkehrtes Bild heraus. Vergleichen wir in dieser Weise die Silurflora (der Tanner Grauwacke) des Harzes mit der dortigen Culmflora, so erhalten wir hinsichtlich der Lepidophytenreste das folgende Bild:

| Silur | Culm |
|--|---|
| <i>Cyclostigma</i> | |
| <i>Lepidodendron</i> | <i>Lepidodendron</i> |
| <i>Knorria</i> (wie <i>K. acicularis</i> , <i>imbricata</i> etc.) | <i>Knorria</i> (insbesondere <i>K. imbricata</i>) |
| | <i>Bergeria</i> |
| <i>Stigmaria</i> | <i>Stigmaria</i> |
| | <i>Lepidophloios</i> |
| | etc. |

Das macht allerdings den Eindruck, als sei der Gesamtcharakter beider Floren derselbe und als ob sie sich nur dadurch unterschieden, daß im Silur noch *Cyclostigma* hinzutritt, die anderen Reste jedoch im großen und ganzen dieselben seien und im Culm nur mehr Arten vorkommen oder mehr erhalten sind. Nun gehören aber die außer *Cyclostigma* angegebenen Reste des Silurs dieser Gattung selbst als besondere Erhaltungszustände beziehungsweise als besondere Organe an, wodurch das Bild ein ganz anderes wird, indem wir nunmehr einerseits (im Silur) nur *Cyclostigma* haben mit lepidodendroiden Zweigen, dem *Knorria*-Erhaltungszustand und *Stigmarien* als unterirdischen Organen, jedoch andererseits (im Culm) u. a. *Lepidodendron* mit *Knorria*- etc. Erhaltungszuständen. Namentlich der *Knorria imbricata*-Zustand kommt in beiden Formationen vor, erklärt sich aber in beiden Fällen dem Kenner ganz verschieden.

Listen, wie die oben gebrachten, die aufgestellt werden, um Ähnlichkeiten oder Unterschiede zweier Floren hervorzuheben, sollten radikal ausgemerzt werden, da sie nach dem Gesagten ganz falsche Vorstellungen erwecken. Erhaltungszustände können doch natürlich auf keinen Fall wie Arten behandelt werden!

Auch Baumstümpfe kommen unter allochthonen Resten vor; allein sie zeigen dann nicht die früher geschilderten Charaktere, insbesondere stehen sie nur gelegentlich einmal zufällig senkrecht zu den Schichtungsflächen.

Bei der Fülle des vorhandenen Holzes hatte ich z. B. in Kanada vielfach Gelegenheit, kaustobolithische Ablagerungen zu finden, die durch Driftung von Gehölzteilen entstanden sind. Man braucht nur einmal einen durch waldreiches Gelände fließenden Strom in einem noch wenig kultivierten Gebiet streckenweise zu befahren, z. B. den Columbia River in Britisch-Columbien, um eine Vorstellung von der großen Menge von Baumstämmen zu gewinnen, die ständig, namentlich von Steilufeln aus, bei ihrer Aufarbeitung durch den Fluß ins Wasser gelangen, um dann in Etappen gedriftet zu werden. So sind denn überall Mengen von Driftholz vorhanden, die man am Ufer, namentlich im Gebiet der Kordilleren, aber auch in Ost-Kanada, an den Ufern der Flüsse und Seen angeschwemmt findet, zuweilen zu „Holzbergen“ so angehäuft (Abbildungen bei POTONÉ, Exkurs. durch Süd-Kanada 1909), daß gelegentlich, wie ich das am Illecilliwaet River östlich Revelstoke (B. C.) sah, das fließende Wasser auf einer Strecke vollkommen den Blicken entschwindet. Wenn verschwemmte Baumstämme mit schwerem, vielleicht noch mit umklammerten Steinen belastetem Wurzelwerk in tiefere Wasser gelangen, so sinken sie gern schließlich mit dem schwereren Teil unter und weisen schräg aufwärts strebend die Richtung des fließenden Wassers an. Solche „Lanzen“ (snags), die bei hohem Wasserstande ganz bedeckt sein und dann der Schifffahrt gefährlich werden können, wie das aus älterer Zeit u. a. vom Mississippi her bekannt ist, waren im Upper Arrow Lake (einer breiteren Stelle des Columbia River) bei Arrowhead in großer Zahl aus dem Wasser ragend zu sehen.

Zur Erzeugung und Erhaltung von Humuslagern durch solches Driftmaterial sind aber die Transportwege und die Ablagerungsstellen zu bewegt: es wird gewöhnlich alles mit der Zeit vollständig zersetzt. Nur gelegentlich finden hinreichend ständige und mächtigere Anhäufungen an ruhigeren Stellen statt, wo dann ein Humuslager entstehen kann. Dies ist z. B. der Fall am NO.-Ufer des Moyie Lake (B. C.). Hier ist ein in der angedeuteten Weise entstandener pulveriger Humus in ziemlich dicker Lage vorhanden; er ist von schwarzer Farbe und durch das zerfallende Holz und die Rindenbestandteile etwa von der Beschaffenheit des Holzmulms auf alten Holzhöfen. Als ich dort war, wurde das weit aufs Land geworfene Driftholz gerade in mächtigen Haufen verbrannt, um die ebene Landfläche als Weide zu gewinnen. Außer Holz kommen hier und sonst — an Volumen freilich untergeordnet — auch gedriftete Blätter und Sprosse, besonders von Wasserpflanzen wie *Nymphaeaceen*, *Potamogeten*, Früchte und Samen u. dergl. hinzu.

Fig. 44 veranschaulicht eine Häckselstranddrift vom Bodenseeufer, die dort an einigen Stellen bis $\frac{1}{2}$ m und etwas mehr mächtige Humuslager gebildet hat. Auch diese habe ich besucht.

Solche allochthonen, an Ausdehnung nur geringfügigen Ablagerungen treten zwar den autochthonen Humusbildungen gegenüber so gut wie ganz zurück, aber sie müssen gelegentlich doch auch fossil vorkommen, nur muß man, um Sonderfälle als hierher gehörig zu erweisen, auch hinreichende Merkmale anzugeben imstande sein. So kann man bei fossilen Stämmen in Sandsteinen dieselbe Schrägstellung wie bei den „Lanzen“ gelegentlich dort beobachten, wo die Allochthone der vorhandenen Pflanzenreste auch ohnedies meist nicht zweifelhaft ist.



Fig. 44. Humusablagerung aus Stranddrift. Bodensee-Ufer westlich Friedrichshafen.
(Nach O. KIRCHNER.)

Schon LYELL bildet in seiner Geologie eine solche „Lanze“ aus dem produktiven Carbon ab.

Bei einem Transport über Meer wird eine Anreicherung von organischem Materiale auf dem Boden des Meeres nicht beobachtet. Die MOHRsche Tangtheorie geht u. a. davon aus, daß die großen losgerissenen Tangmassen, die über das Meer geführt werden (man denke an das *Sargasso*-Meer im Atlantischen Ozean), schließlich untersinken und daß diese Massen, auf dem Boden des Meeres in Tausenden und aber Tausenden von Jahren sich anhäufend, Lager bilden sollen, die endlich Kohlenlager würden. Es ist dies aber eine bloße, durch die Erfahrung nicht bestätigte Annahme, denn obwohl Dretschungen von

AGASSIZ bewiesen haben, daß eine Menge Blätter, Hölzer und Früchte sich am Meeresgrunde finden können in einer Entfernung von mehr als 1000 km von dem nächsten Lande, so sind doch im Meere ordentliche Humus- oder reine Sapropelbildungen auf dem Grunde nicht beobachtet worden. Es ist das auch leicht erklärlich, da im Meere eine unablässige Bewegung stattfindet; es ist steter, wenn auch in den Tiefen sehr langsamer Fluß vorhanden, der ständig Sauerstoff auch in die tiefsten Tiefen des Meeres führt, so daß wesentlich nur ein Verwesungsprozeß möglich ist, d. h. eine Zersetzung nach der Richtung, daß nur Wasser, Kohlendioxyd usw. entstehen, aber keine wesentlichen festen, kohlenstoffhaltigen Produkte zurückbleiben können. Nur wenn Pflanzenteile rechtzeitig unter ruhige Wasserbedeckung und damit unter möglichsten Luftabschluß geraten, können, aber das ist vergleichsweise untergeordnet der Fall, Humus- oder Sapropellager entstehen. Im Meere kommt hinzu, daß beim Durchsinken großer Wassersäulen — bevor das Material auf den Boden gelangt — eine besonders schnelle Zersetzung statthat.

Das Gros der fossilen Humuslager ist auf diesem Wege bestimmt nicht entstanden, da diese ganz überwiegend deutlich die Merkmale der Autochthonie aufweisen.

Es ist durchaus unzureichend, aus der Tatsache, daß in den Mitteln zwischen den Kohlenlagern allochthone Pflanzenreste vorkommen, zu schließen, daß nun auch die Kohlenlager selbst allochthon sein müßten. Das tut z. B. FAYOL mit dem von ihm sehr beachtenswert untersuchten Revier von Commentry, da er die Sprache der fossilen Pflanzenreste nicht zu lesen verstand. Erstens sprechen die schön erhaltenen, zahlreichen Farnwedel gegen eine Anschwemmung derselben; bei ihrer für Fossilien besonders vollkommen erhaltenen Größe können sie auf keinen Fall einen irgendwie nennenswerten Transport erlitten haben. Vergl. z. B. den Rest einer *Pecopteris* bei R. ZEILLER (1888) und überhaupt die Abbildungen in dem genannten Werk. Ein ganzer (großer) Farnbaum von der relativ vollständigen Erhaltung und mit noch ansitzendem Wedel, wie ihn Fig. 45 zeigt, kann nicht gedriftet sein; dabei ist noch zu berücksichtigen, daß so große Fossilien gar nicht vollständig das Bild wiedergeben, wie vollkommen der Rest erhalten war, da eine vollständige Herauspräparierung aus dem Gestein unmöglich und deshalb ein weitgehender Verlust in Rechnung zu ziehen ist. Ich selbst habe übrigens an Ort und Stelle nicht größere Mengen fossilen Häcksels gesehen als sonst üblich in Verbindung mit rezenten und fossilen autochthonen (Carbon-)Lagern. — Zweitens kommen im Revier von Commentry nicht selten Stigmarien in situ vor: das habe ich selbst durch die Auffindung autochthoner Stigmarien konstatiert, die übrigens auch RENAULT (1890) von daher abbildet. Die eine Figur (unsere Fig. 46) stellt sogar eine solche noch in 6 m Breite erhalten dar mit horizontal auslaufenden

Zweigen, denen die Appendices in großen Strecken und an vielen Stellen noch dicht und zwar durchaus regelrecht — eben wie bei autochthonen Stigmarien ausstrahlend — ansitzen. Will man hier durchaus bei der

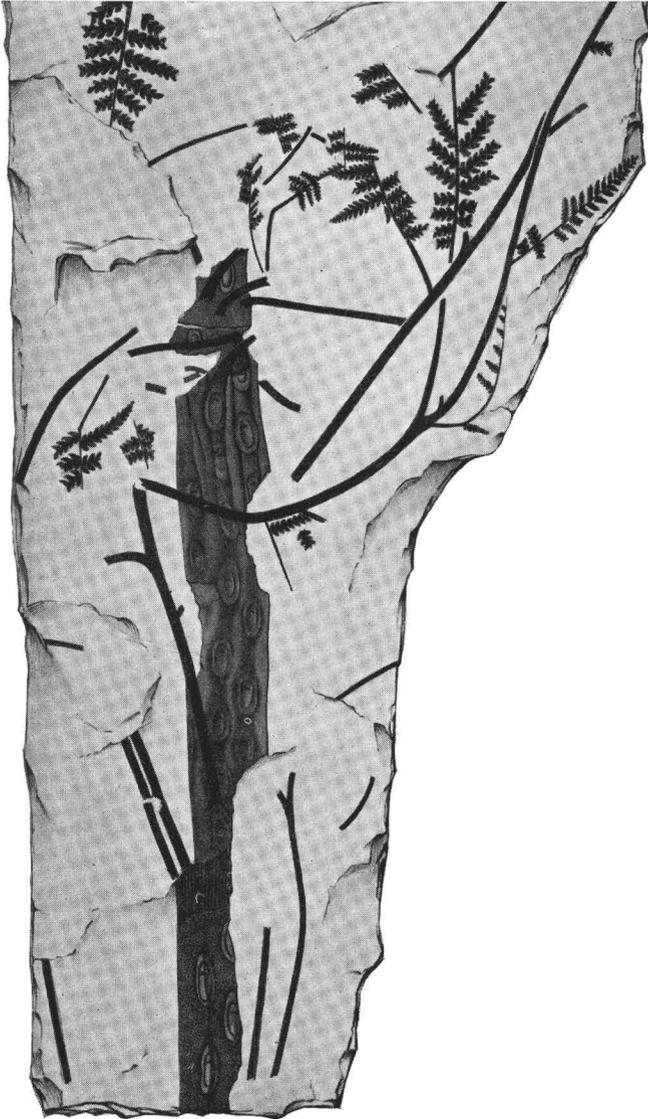


Fig. 45. Farnstamm mit dazu gehörigen, z. T. noch ansitzenden Wedelteilen (*Pecopteris*) in ca. $\frac{1}{14}$ der natürl. Größe. (Nach ZEILLER.)

Allochthonie verharren, so bliebe nichts übrig als anzunehmen, daß der feine Schlamm, der sich zwischen den *Stigmaria*-Zweigen und den Appendices befindet, zusammen mit der Stigmarie transportiert worden

sei, was recht unwahrscheinlich ist, um so mehr als autochthone Stigmarien dort zu häufig sind, als daß es sich um eine solche Ausnahmerecheinung handeln könnte. Es ist noch hinzuzufügen, daß nach RENAULT an dem Stück, das an Ort und Stelle gezeichnet werden mußte, die *Stigmaria*-Zweige noch weiter gedrungen sind, aber nicht verfolgt werden konnten. Dieses ganze mächtige Fossil mitsamt dem Boden, in dem es zu seinen Lebzeiten wuchs, müßte also bei Annahme der Allochthonie transportiert worden sein.



Fig. 46. *Stigmaria* in ca. $\frac{1}{60}$ der natürl. Größe. (Nach RENAULT.)

Bei der Annahme, die Commentry-Pflanzen seien von den Bergen heruntergeschwemmt, dürften sie — wenigstens im wesentlichen — keine Moor- und Sumpfpflanzen sein; sie unterscheiden sich aber in Wahrheit nicht von denen anderer Carbonmoore.

FAYOL hat geschickt nachgewiesen, daß die Kohlenlager von Commentry in einem Delta entstanden sind, aber gerade Deltagebiete sind naturgemäß auch heute bevorzugte Örtlichkeiten für Moorbildungen, wie u. a. das Rheindelta (Holland) und das Memeldelta.

Sekundär-allochthone Kohlen

Soweit im vorausgehenden von Allochthonie die Rede war, handelte es sich um primäre Allochthonie; nun noch ein Wort über sekundäre Allochthonie (vergl. p. 19).



Fig. 47. Autochthone Braunkohle eines Tagebaues bei Groß-Räschen in der Niederlausitz (Senftenberger Revier). Zu beachten ist die Homogenität der Kohle im Stoß und die Großstückigkeit des durch die Haue gelösten Materiales.

Wie in Torfmooren Wasserströme gewisse Teile aufarbeiten und als Schlamm- oder Bröckeltorf wieder absetzen können, so ist auch gelegentlich in Braunkohlen eine Bröckelkohlenbildung zu beobachten und kommt gewiß auch in der Steinkohlenformation vor. Unter Umständen zerfällt diese Kohle beim Anbruch durch die Haue sofort in die

einzelnen Brocken und rieselt hinab: Feinkohle und Rieselkohle der niederrheinischen Braunkohlenbergleute.

Die autochthone und gewiß auch die primär allochthone Kohle ist hingegen eine im ganzen homogen struierte, festere Kohle. Wenn sie von besonders feinen, zahlreichen Klüften durchsetzt wird — die gelegentlich mit anorganischer Mineralsubstanz, z. B. mit Kalkspat erfüllt sein können —, kann sie ebenfalls „Rieselkohle“ sein; aber die sich sofort voneinander trennenden einzelnen Stücke sind natürlich anstehend, d. h. im Stoß gesehen, wie das sauberste und exakteste Mosaik aneinander-



Fig. 48. Sekundär-allochthone Braunkohle, im Stoß gesehen. Unten das pulver- bis krümförmig erscheinende, gelöste Material. Grube Emma bei Streckau (Zeitz-Weißenfels Revier).

gefügt, dadurch ohne weiteres darauf hinweisend, daß es sich ursprünglich, vor der Zerklüftung, um eine typische „Knabbenkohle“, d. h. in großen Stücken (daher auch Stückkohle) gewinnfähige Kohle gehandelt hat. Solche Kohle, die immerhin, da hier die Klüfte nicht gar zu eng aufeinander folgen, noch in ziemlich großen Stücken nach dem Anhauen herabfällt, gibt es im oligocänen Revier der Provinz Sachsen, während bei der autochthonen Kohle des miocänen Senftenberger Reviers die feine Zerklüftung fehlt (Fig. 47).

Gänzlich verschieden davon ist im Anstehenden die sekundär-allochthone Braunkohle, wovon unsere Fig. 48 — aufgenommen in

der Grube Emma bei Streckau in der Provinz Sachsen — eine Anschauung bietet. Hier sind die einzelnen Stücke bis zu Pulverform weit lockerer gefügt, und die größeren liegen in eine Krümel- und Staubkohle eingelagert. Beim Anhauen lösen sich die einzelnen Kohlenpartikel sofort voneinander und bilden daher mehr krümelige bis staubförmige Schuttkegel. Nur selten findet man freilich in solcher sekundär-allochthonen Kohle Stücke von Geröllform, meist dann festere Bestandteile, wie Holz, und zwar sind Geröllstücke deshalb nur gelegentlich zu finden, weil die Kohle beim Transport durch auch nur geringe mechanische Angriffe leicht in kleinere Stücke zerfällt, die dann natürlich immer wieder scharfkantig sind. Darauf weist ja schon das stete Vorkommen auch von Staub- und Krümelkohle in solchen gedrifteten Braunkohlenlagern hin. Je länger die Kohle einem Transport ausgesetzt war, bzw. je stärker die mechanischen Insulte waren, die sie dabei erlitten hat, um so stärker ist sie natürlich dabei zerkleinert worden. So finden wir denn in einzelnen Gruben eine sehr feine, fast durchgängig von vornherein mehr krümelige und staubige Kohle, wie z. B. in dem Tagebau von Voß bei Deuben. Freilich kann man nicht unbedingt aus dem Vorhandensein solcher stärker zerkleinerten Kohle auf einen weiteren Transport schließen. Es kann sich vielmehr gelegentlich auch einfach um eine nahe beieinander erfolgte Separation des feineren Materials von dem gröberen handeln und diese deutet dann natürlich nur auf ruhigere Stellen etwa am Rande des bewegenden Wassers hin.

Bei weiten und immer wieder aufgenommenen Transporten wird schließlich die allmählich vollständig zerpulverte Braunkohle ganz verteilt; sie bildet keine Lager mehr, sondern nur noch hier und da mehr oder minder auffällige Andeutungen ihres Vorhandenseins, aber das mechanisch widerstandsfähige Braunkohlenholz bleibt noch lange in Stücken erhalten, wird abgerollt und findet sich so u. a. öfter im Diluvium Norddeutschlands (Fig. 49).

Fein von der Natur ausgeschlammte oder vom Menschen pulverisierte erdige Braunkohle hat namentlich früher wie Ocker unter dem Namen Umbra (besonders beliebt war die „Cölnische Umbra“, auch „Cölnnerbraun“, auch von der Casseler Braunkohle „Casselerbraun“) als Farbe Verwendung gefunden, besonders wenn sie Eisenoxyd enthielt. Auch die Braunkohle von „erdiger“ Form, das ist ihr gewöhnlicher Zustand („gemeine Braunkohle“), ergab in künstlich geschlammtem oder pulverisiertem Zustande „Umbra“.

Zur Beurteilung, ob man sekundär-allochthone Braunkohle vor sich hat, muß ein reiner unverwitterter Stoß zur Beobachtung gelangen, da auch verwitternde autochthone Kohle leicht zu Rieselskohle zerfällt.

Je älter eine sekundär-allochthone Kohle ist, um so mehr muß sich aber die angegebene Struktur wieder verwischen und auslöschen,

Fig. 49. Braunkohlenholz-(Lignit-)Gerölle aus dem Diluvium Berlins. Beim Bau der Utergrundbahn gefunden. $\frac{1}{8}$ der natürl. Größe.



da bei der weiteren Selbstzersetzung eine homogenere Beschaffenheit des Kaustobioliths erzielt wird.

Gedriftete Kaustobiolithe sind natürlich hervorragend prädestiniert anorganisches Gestein aufzunehmen, das vom Wasser mitgeführt werden kann, ja die Driftung von anorganischem Gestein kann natürlich überwiegen. Einen solchen Fall habe ich seinerzeit aus dem niederrheinischen

Braunkohlenrevier westlich der Ville bekannt gemacht, wo sich in sekundär-allochthoener Kohle Tonflöze eingelagert finden, mit einzelnen gleichmäßig in dem Tonflöz verteilten Kohlenbrocken (Fig. 50). Dementsprechend finden sich denn auch in den Zwischenmitteln der Braunkohlenlager der südlichen Provinz Sachsen und von Anhalt gelegentlich einzelne Braunkohlenstückchen. Der Ton im Liegenden der sekundär-allochthonen Kohle des Tagebaues der Grube Emma z. B. enthält solche Braunkohlenbrocken.

Es ist ferner begreiflich, daß es gerade die sekundär-allochthone Braunkohle ist, die Trockenrisse aufweist, denn die autochthonen Kohlen sind in ihrer Entstehung mit denjenigen unserer Moore zu vergleichen, die unter steter Wasserbedeckung entstanden sind, und wenn auch hier einmal eine Trockenperiode eintritt, so sinken die gebildeten Humusmassen vermöge ihres sehr großen Wassergehalts einfach in sich zusammen, und es bedarf schon einer sehr starken Entwässerung, um dann nach dem Zusammensinken noch Trockenrisse zu erzeugen. Anders ist es dagegen bei ungelagertem Humus, der besonders bei Hochwasser transportiert,



Fig. 50. a = Tonföz mit sekundär-allochthonen Braunkohlenbrocken, darüber b sekundär-allochthone Rieselkohle. Grube Liblar bei Cöln.

dadurch leicht auf Gebiete gelangt, die im üblichen Zustande einen geringeren Wasserstand aufweisen. So kenne ich denn Trockenrisse bis jetzt nur in Lagern aus sekundärer-allochthoner Kohle, wie das unsere Figur in dem Abschnitt über die fossilen Liptobiolithe zur Anschauung bringt.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß gewisse Merkmale, die sonst für Autochthonie sprechen, auch in allochthonen Kohlen vorkommen können, denn es ist bei der Untersuchung eines Spezialfalles nicht zu vergessen, daß auch Böden aus transportiertem Material, gleichgültig, ob es kaustobiolithischer oder anorganisch-mineralischer Natur ist, in Ruhezeiten eine autochthone Vegetation — Bäume, Röhrichte und dergl. —

tragen, und daß diese von allochthonem Kaustobiolith nachträglich wieder überdeckt werden können. Als Beispiel sei angeführt, daß — wie mir mein Kollege Herr Landesgeologe Prof. Dr. ERNST ZIMMERMANN schreibt — „im Culm bei Landeshut zwischen den mehrere Meter mächtigen Lagern von verkittetem groben Kies und Konglomerat (also allochthonen Schichten) in mehrfacher Wechsellagerung (in einem Steinbruch 3 oder 4mal) Tonlagen sich finden, die z. T. dünnstieferig, d. h. auch allochthon, z. T. aber ganz von *Stigmarien* nach allen Richtungen durchsetzt sind, also die Grundlage eines autochthonen Kohlenlagers abzugeben in der Lage gewesen wären. Kohlenlager sind aber dort nur ausnahmsweise, in einigen Zentimetern Mächtigkeit, erhalten“. Übrigens kann man natürlich so gut wie in allen Revieren des produktiven Carbons dasselbe beobachten. In allen Fällen sprechen also autochthone Waldreste in Form aufrechter Baumstümpfe und Röhrichtböden nicht für die Autochthonie des diese einbettenden Kaustobioliths. Diese Selbstverständlichkeit muß doch vorgebracht werden, weil mir u. a. tatsächlich in der Literatur der schiefe Einwand gemacht worden ist: die sekundär-allochthone Braunkohle des Cölner Reviers müsse autochthon sein, weil gelegentlich Bäume darauf gewachsen seien! In logischem Verfolg solcher Ansichten müßte dann auch z. B. der Sand Norddeutschlands autochthon sein, weil Kiefern auf ihm stehen!

Bei dünnbreiigem, fließendem Torf, der vielfach vorkommt, kann ebenfalls eine Verlagerung stattfinden („Moorausbrüche“).

Der Tropentorf aus Sumatra, von dem noch die Rede sein wird, ist flüssig-breiig. Bei seiner hervorragenden Beweglichkeit müßte er leicht transportiert und umgelagert werden können und wir dürften dann wohl das Gleiche vielfach von der Steinkohle annehmen, als sie sich noch im Torfzustande befand. Hochwasser und Wasserrisse werden solchen Torf besonders leicht verlagern und gelegentlich größere sekundär-allochthone Ansammlungen oder Schmitze in der Nähe der Moore erzeugt haben. (Näheres über sekundär-allochthone Kaustobiolithe vergl. im Abschnitt über die Liptobiolithe).

Gerölle und konkretionäre Bildungen in Kohlenlagern

Der Erklärung der Steinkohlenlager als fossile Moore scheint nun allerdings die Tatsache zu widersprechen, daß sich in diesen Lagern, wenn auch selten, Gerölle finden. Es seien bei der Behandlung dieser Frage auch die anderen fremdartigen Bildungen, die in Kohlenlagern vorkommen, mitberücksichtigt. Es sind namentlich aus Steinkohlen die folgenden zu erwähnen:

1. Gerölle, und zwar

- a) aus anorganischen Gesteinen z. B. aus Quarz oder Quarzit, Sandstein, Granit, Gneis, Glimmerschiefer.
- b) aus Kaustobiolith, z. B. aus Kohle.

2. Konkretionäre Bildungen, d. h. aus Minerallösungen niedergeschlagenes Mineral, das von einer Stelle ersten Niederschlags ausgehend von da aus gern kugelige bis knollige Massen erzeugt, das sind die eigentlichen Konkretionen, die

- a) Inkrustate, von denen die
- b) Intuskrustate für unseren Fall nicht zu trennen sind.

1a. Gerölle anorganischer Gesteine.

Wie sind die hier und da in den Steinkohlenlagern gelegentlich nur vereinzelt, seltener in Ansammlungen vorkommenden Geschiebe von Quarzit, Granit u. dergl. in diese Lager hineingeraten?

Auch darauf gibt uns der Vergleich mit gegenwärtigen Vorkommnissen unschwer Antwort. Viele große Flachmoore werden von Wasserläufen durchflossen, die einmal Gerölle und Sedimente mitbringen, ein andermal wesentlich pflanzlichen Detritus, auch gelegentlich ganze ausgerissene Bäume. Das ist eine Erscheinung, die man in Urwaldgegenden noch besonders gut beobachten kann. Hier bei uns, wo der Schleier der Kultur alles dicht verhängt, ist die Natur freilich oft schwierig zu rekonstruieren. Das Wurzelwerk hält zunächst einen Teil der Bodenbestandteile noch fest, die um so eher ausgespült werden, je feiner sie sind. Größere Steine aber werden oft so umklammert, daß sie weithin mitgenommen werden. Kommt die Flößung solcher Bäume endlich und zwar in dem Teil des Wasserlaufs zur Ruhe, der in dem Moore liegt, so bleiben die Gerölle in denselben dauernd im Humuslager stecken. In dieser Weise hat schon der englische Geologe PHILIPPS (1855) die Herkunft der Fremdlinge in den Kohlen erklärt, und daß die größeren fossilen Moore ebenso von Wasserläufen durchkreuzt werden konnten, wie unsere heutigen Moore, dafür sind ebenfalls Tatsachen vorhanden in den „Flözverdrückungen“, jenen zuweilen vorhandenen Teilen der Kohlenlager, deren Mächtigkeit schnell geringer wird gelegentlich bis zum Verschwinden der Kohle, so daß dann der fehlende Teil von anorganischem Sediment eingenommen wird. Wie ERNST KOHLER (1903) gezeigt, entsprechen solche Verdrückungen im Saarrevier natürlich in einer Grundrißkarte dem Verlauf eines Flußsystems. Vergl. auch das, was RICHARD ALTHANS (1892) über die „Riegelbildungen“ im Waldenburger Steinkohlengebirge sagt; er möchte ihre Entstehung der mechanischen Kraft des Wassers zuschreiben. „Die langen gangartigen Gebilde wären dann als Furchen anzusehen, die durch heftig strömendes Wasser in das Kohlengebirge

ingerissen wurden, während die anderen, schachtartig die Schichten durchsetzenden wahrscheinlich als ausgefüllte Strudellöcher zu betrachten sind.“ Für uns würden freilich nur diejenigen Wasserrisse usw. in Frage kommen, die erweislich zur Zeit der Entstehung der Kohlenlager vorhanden waren, nicht diejenigen, die geologisch jüngeren Zeiten angehören.

Die Gerölle sind sehr verschieden groß; abgesehen davon, daß auch feines Material noch in das Kaustobiolithlager gelangen kann, sind Gerölle von wenigen Gramm bis über 100 Kilogramm Gewicht bekannt. Im Karolinenflöz der Hohenlohegrube bei Kattowitz in Oberschlesien fand sich ein Geröll von 55 Kilogramm (nach RÖMER 1864 p. 615); aus der Veine-du-Nord bei Aniche (Nord) in Frankreich gibt CH. BARROIS (1907 p. 329) gar solche von 120 Kilogramm Gewicht an. Wie in den Steinkohlenlagern sind auch in den rezenten Flachmoortorflagern Geschiebe der genannten Art nur selten, aber der Transport derselben durch Bäume ist hier längst bekannt: er vermag gewaltige Strecken zu überwinden, fand man doch auf Koralleninseln des Stillen Ozeans in dieser Weise transportierte basaltische Felsstücke.

Gelegentlich mag auch wohl einmal die Vermittlung beim Transport eine andere gewesen sein. Diesbezüglich ist darauf aufmerksam zu machen, daß Geschiebe auch besonders durch Meerestange, aber auch durch kleinere Algen transportiert werden können (Fig. 51). Tange wachsen nicht auf losem Grund und Boden, sondern nur auf festem Gestein. Sind es Geschiebe, die den Boden bilden, so können die Tange, z. B. Laminarien, vermöge ihres geringen spezifischen Gewichts emporstrebend und -wachsend, immer größere Lasten tragen und schließlich den Stein, auf dem sie festsitzen, emporziehen und so die Veranlassung werden, daß der Stein, durch Wellen und Fluten bewegt, an den Strand geworfen wird. Dieser Gesteintransport aus der Tiefe durch Vermittlung von Tangen ist besonders schön und reichlich u. a. auf Helgoland zu beobachten, wo eine Unzahl von Geschieben umherliegen, denen die Algen noch anhängen. Würde am Strande ein Moor liegen, so würden die Gerölle hineingeschwemmt werden können. In der Tat sind es gerade die paralischen Steinkohlenreviere, die vorwiegend Geschiebe aufweisen. Die durchschnittliche Größe der Geschiebe ist derartig, daß ein Transport durch Tange wohl angenommen werden könnte; die wenn auch nur in wenigen Fällen beobachteten sehr großen Blöcke wird man freilich nicht geneigt sein, in der letztangegebenen Weise transportiert zu denken.

Übrigens kann auch in Süßwässern eine Bewegung von Geschieben in gleicher Weise stattfinden, nur natürlich hier nicht durch Vermittlung von Tangen, da diese dem Süßwasser fehlen; hier kommen Fadenalgen in Betracht, die am Grunde des Wassers auf Kieseln und

Molluskenschalen wachsend diese schließlich emporzuheben und der Wasserbewegung preiszugeben vermögen.



Fig. 51. *Laminarien* (auf den Strand von Helgoland ausgebreitet) ansitzend auf Geschieben (das linke Geschiebe mit Bohrmuschel-
löchern), die dem Meeresgrunde entstammen. Rechts unten ein Stück Sapropelit (Sapropel-„Töck“) mit Bohrmuschellöchern,

Die Gerölle liegen meist zu mehreren beisammen; das entspricht der Tatsache, daß ein Baumwurzelgeflecht meist mehrere derselben zu

transportieren pflegt oder daß die von Tangen an den Strand geworfenen Geschiebe sich naturgemäß ebenfalls zusammenfinden. Angegeben findet sich das gelegentliche Vorkommen von Geröllen in den Steinkohlenlagern Nordamerikas und in Europa: in England, Nord-Frankreich, im Ruhrrevier, im Oberschlesisch-polnisch-mährischen Revier, wo ich sie ebenfalls konstatiert habe.

D. STUR vermutete, die Gerölle (die er Steinrundmassen nennt) möchten Pseudomorphosen nach Tonsphärosideriten (die er Torfsphärosiderite und Torfrundmassen nennt) sein. Diese unbegreifliche Anschauung begründet er u. a. durch den Hinweis (1885 p. 641—642) auf das Vorkommen von Kohle in den Blöcken. Auf den Klüften sei gelegentlich allenthalben Kohle in feiner Verteilung abgelagert, oder die Kohle färbe ganze Zonen des Gesteins schwarz. Er sagt: „Die Kohle kann ursprünglich in den Rundmassen nicht enthalten gewesen sein, wie tägliche Erfahrung lehrt und es die Tatsache klar macht, daß die Kohle eine äußerliche Zone der Steinrundmasse färbt. — Auch konnte zur Zeit der vermeintlichen Einlagerung dieser „Gerölle“, respektive Steinrundmassen, in das Flöz die Kohle in die frisch angelangten Fremdlinge nicht eindringen, da damals noch keine Steinkohle, sondern vertorfte organische Substanz es war, welche diese Gerölle in sich eventuell aufnahm.“

Diese von STUR für seine Meinung ausgenutzte Tatsache kann aber denjenigen, der die minerallösende Kraft der Humuswässer kennt, nicht überraschen: im Gegenteil wäre es merkwürdig, wenn die Gesteine sich nicht angegriffen zeigen würden, namentlich werden feldspatige Gesteine leicht kaolinisiert und in der Tat gibt STUR auf Grund einer Untersuchung von FOULLON (p. 625) an, daß „der Feldspat (eines Gerölls) bereits sehr stark verändert, kaolinisiert“ sei. Das Vorkommen von schwarzen Zonen spricht geradezu für die allmählich stattgehabte Einwirkung der Humusstoffe auf das Geröll. Kann diesbezüglich etwas deutlicher reden als die Beschreibung eines Gerölls bei STUR, das eine 2 cm dicke Zone aufweist, „die mit der Oberfläche parallel verlaufend, bis kohlschwarz und weit dunkler gefärbt erscheint, als der innere Kern der Gesteinsmasse“? Hätte STUR übrigens schon damals gewußt, daß alle möglichen Gesteine vorkommen, deren ursprüngliche Lagerstätten zum Teil sicher bekannt sind, so hätte er wohl seine Ansicht selbst aufgegeben.

1 b. Gerölle aus Kohle.

Gelegentlich findet man — in derselben Weise wie von der Brandung modellierte Torfgerölle am Strande der Ost-, Nordsee usw. herstammend von Torflagern, die unter das Wasser geraten sind oder entsprechend den Lignitgeröllen (p. 139) — auch Kohlengerölle z. B. in

den Schichten zwischen den Steinkohlenlagern. Besonders häufig sind solche Kohlengeschiebe aus reichlich sapanthrakonhaltigen Kaustobiolithen (Cannelkohle u. dergl.), weil diese durch ihre festere Beschaffenheit besser zur Geröllbildung geeignet sind als die leicht brüchigen Humuskohlen. So lange freilich noch der Torfzustand vorhanden ist, ist durch die Verfilzung auch hier leicht die Möglichkeit gegeben, Gerölle zu bilden, wie wir ja eben an unseren heutigen Torfgeröllen beobachten. Auch rezente Sapropelitgerölle sind natürlich bekannt, mir selbst ebenfalls vom Nord- und Ostseestrande. Auf der Figur 51 ist ein solches Geröll rechts unten abgebildet; es ist nachträglich von Bohrmuscheln durchlöchert worden, wie das auch bei Moortorf vorkommt, der unter den Meeresspiegel geraten ist, eine Tatsache, die zur Vorsicht bei Beurteilung von fossilen Vorkommnissen mahnt, denn die Bohrmuscheln sind marin, der in Rede stehende Sapropelit aber ein Süßwassersapropelit und der Moortorf eine Landbildung. Die ellipsoidischen bis kugeligen „Mugelkohlen“ (Kugelkohlen) aus der jurassischen Kohle von Fünfkirchen in Ungarn sind vielleicht fossile Torfgerölle (vergl. hierzu GOTHAN 1910) und nicht, wie man hier und da meinte, kugelige Absonderungen, die sich in diesem Falle in viel mehr Kohlenablagerungen finden müßten. Über sphäroidale Kohlebildungen mit konzentrischen Lagen findet sich eine Angabe bei GRAND'EURY (1882 p. 249 [153]), der sie für Absonderungen hält, da er aus der Umgebung einzelne besonders hervortretende Kohlenschnüre ohne jede Verschiebung in die Kugeln eintreten sah. U. a. besitzt der „Anthrazit“ von Charbonnier bei Brassac solche Kugeln. Die Sache bedarf also noch weiterer Untersuchung. Ich selbst habe in situ Kohlenkugeln nie gesehen. Wo wir sichere Absonderungserscheinungen in Steinkohlen kennen, sind sie mehr oder minder pyramidenförmig („Pyramidenkohle“), aber nicht großkugelig (vergl. hierzu auch vorn p. 96), und wo durch Einwirkung von Hitze durch Eruptivgesteine eine Veränderung stattgefunden hat, wie bei der Entstehung des natürlichen Koks, begegnen wir (wie beim künstlichen Koks) einer prismatischen Absonderung derart, daß die Prismen senkrecht zur Hitzequelle stehen (prismatischer Anthrazit, Stengel-, Stangenkohle).

Wo sich echte Kohlengerölle in Kohlenlagern selbst finden, ist zu erwägen, ob das betreffende Lager sekundär-allochthon sein könnte. In solchen Braunkohlenlagern habe ich nur selten welche gefunden und dann aus dem festeren Material wie Holz, während die Kohle sonst beim Transport leicht zerkleinert und dadurch eckig bleibt. Solche Gerölle sind natürlich erst dann entstanden, als der Kaustobiolith bereits „Kohle“ war.

2. Inkrustate und Intuskrustate.

„Mineralische Substanzen schlagen sich ganz allgemein gern an Teilen nieder, die heterogene Bestandteile in einer homogenen Masse bilden“ (POTONIÉ, Lehrb. d. Pflanzenpaläont. 1899 p. 5) und da ist zu unterscheiden, ob eine Inkrustation erfolgt, d. h. eine Umkrustung des heterogenen Objektes, oder ob eine Einlagerung von Mineralsubstanz stattfindet, wie das z. B. in durchlässigen Pflanzenteilen möglich ist: eine Intuskrustation.

Mineralwässer, die in Humuslager eindringen, ergeben im Zusammentreffen mit dem sich zersetzenden Humus vielfach chemische Umwandlungen der gelösten Mineralsubstanzen, sodaß oft feste Mineralien bzw. Gesteine gebildet werden, die dann als bemerkenswerte Einlagerungen oft in Konkretionsform auftreten, so z. B. Spateisenstein, Toneisenstein, Schwefelkiesknollen usw., Kieselsäureniederschläge, Kalziumkarbonate, Kalzium-Magnesium-Karbonate (Dolomit) usw. Unter diesen sind diejenigen für uns am wichtigsten, die sich dadurch deutlich als intuskrustierte Teile von Humussteinkohlenlagern ergeben, daß sie beim Aufbrechen und besonders beim Anschleifen anatomisch zum Teil überraschend schön erhaltene Landpflanzenreste zeigen. Diese meist knollenförmigen Bildungen, die aber auch bis lagerförmig vorkommen können, bestehen vorwiegend aus Kalzium-, aber auch Eisensalzen, und zwar meist aus einem Gemenge von Kalzium-Magnesium-Karbonat und Spateisenstein; wenn ersteres stark vertreten ist, bezeichnet man die in Rede stehenden Gebilde als Dolomitknollen. Sie kommen vor in Groß-Britannien als „calcareous nodules“, „coal balls“, von woher sie seit langem von Halifax und Oldham bekannt sind, bei uns im Mährisch-Ostrauer-, dem Ruhr- und dem Aachener Revier, kurz in Revieren, die am Meeresstrand gelegen haben, in paralischen Kohlenbezirken, niemals aber in kontinentalen. Die oft Geschiebe vortäuschenden Objekte sind — wie gesagt — intuskrustierte Flözteile, die uns unter Umständen einen trefflichen Aufschluß über die Anatomie der organischen Bestandteile der Humuslager geben. Zu Schliffen verarbeitet und unter dem Mikroskop betrachtet geben sie das Bild einer gleichzeitigen Inkohlung und Intuskrustation. Die für letztere nötige anorganisch-mineralische Substanz stammt aus dem Meerwasser: eine Ansicht, die im Prinzip schon E. W. BINNEY (1841) vertrat (vergl. sodann die Arbeiten über die Dolomitknollen von MENTZEL (1904), KUKUK (1909) sowie M. C. STOPES und D. M. S. WATSON (1907)). Das Meerwasser enthält bekanntlich — abgesehen von den Nebenmeeren mit oft viel geringerem Salzgehalt — rund 3,5 % Salze, in denen alle Elemente vorhanden sind, die u. a. zur Bildung des Dolomits notwendig sind, nämlich nach C. DITTMAR außer Spuren noch anderer Salze sowie

außer NaCl (77,758 % aller Salze) und K_2SO_4 (2,465) nach chemischen Rechenoperationen des Genannten: $MgCl_2$ (10,878), $MgSO_4$ (4,737), $CaSO_4$ (3,6), $CaCO_3$ (0,345) und $MgBr_2$ (0,217).

E. S. W. SKEATS (1903) meint, daß vielleicht die bei der Zersetzung organischen Materials entstehende Kohlensäure das Magnesiumsulfat wohl zu kohlensaurer Magnesia umzusetzen vermöchte, und G. LINCK (1909) macht dann ausdrücklich auf das bei der Zersetzung der Organismen aus ihren Proteinen entstehende Na_2CO_3 und $(NH_4)_2CO_3$ aufmerksam, Karbonate, die Umsetzungen mit den Ca- und Mg-Salzen des Meeres eingehen. Er hat denn auch in einer Lösung von $MgCl_2$, $MgSO_4$ und Ammoniumsесquikarbonat (Hirschhornsalz) $[(NH_4)_2CO_3 + 2NH_4CO_3]$, der er $CaCl_2$ hinzufügte, einen Niederschlag erhalten, der fast genau die Zusammensetzung des Dolomits hatte.

In der Tat handelt es sich in den Steinkohlenlagern, die Knollen der in Rede stehenden Art enthalten, um solche, die nach ihrer Bildung, und zwar als sie sich offenbar noch im Torfzustande befanden, an Meeresküsten durch Landsenkung bzw. durch Überschwemmung unter das Wasser gerieten, denn die unmittelbar hangenden Schichten der Dolomitknollen führenden Kohlenlager enthalten Reste von Meerestieren. So befinden sich im Ruhrrevier Dolomitknollen in zwei Kohlenlagern, nämlich außer im Flöz Finefrau-Nebenbank der Magerkohlenpartie noch in einem höheren Horizont im Flöz Katharina (= Flöz Isabella), dem hangendsten der Fettkohlenpartie, und zwar hier bis zu $\frac{1}{2}$ des Rauminhaltes des ganzen Kohlenlagers einnehmend (MENTZEL, 1904 p. 1167), während im Flöz Finefrau-Nebenbank die Knollen nur im obersten Teil des Lagers vorkommen (l. c. p. 1168). Über den Lagern befinden sich im Schiefer-ton, und zwar in einer Entfernung von ca. 0,5 m und mehr vom Lager-Hangenden entfernt, Meerestierreste.

Solche Lager entsprechen ganz unseren Torflagern, die an der Nord- und Ostsee sich gegenwärtig unter dem Wasserspiegel befinden und daher ebenfalls natürlich von Meeressedimenten bedeckt werden können. Als ein Beispiel für viele mag das von MEYN (1872 p. 26) angegebene Torflager an der NW.-Spitze der Hamburger Hallig erwähnt sein, das mit weit über 1 m mächtigem Klei bedeckt ist, der Schalen von *Cardium edule* führt. (Hinten mehr Beispiele.)

Durch Einwirkung von organischer Substanz auf Meerwasser können sich insbesondere Kalksalze abscheiden. Die in das Humuslager eindringende Salzwasserlösung wird daher, wenn die Bedingungen einen genügenden Wechsel desselben zulassen, eine mehr oder minder weitgehende Dolomitisierung ermöglichen, und zwar wird diese — da Niederschläge Attraktionszentren bevorzugen — gern in der Form von Kügelchen (Oolithen), dann größeren Knollen geschehen, die schließlich auch mit-

einander verschmelzen können, so daß dann ganze Teile des Humuslagers intuskrustiert sein können.

Die Erwähnung von Attraktionszentren veranlaßt mich, hier einen Gedanken näher auszuführen, den ich einmal zum Ausdruck gebracht habe, daß nämlich die Dolomitknollen aus Seebällen hervorgegangen sein könnten. Gehen wir dabei von den „Genistpaketen“ aus. Diese kommen durch das Ineinanderverfilzen und -verstricken herabgeschwemmter Pflanzenteile zustande; durch die dauernde Bewegung und die mechanischen Angriffe erhalten die bis storchnestgroßen oder noch größeren Pakete eine mehr oder minder kugelige bis walzige, geröllartige Form, wie man das bei Hochwassern gewisser Ströme beobachten kann. Vom Meeresstrande und aus größeren Landseen sind solche Genistpakete in noch besserer Geröllform unter dem Namen Seebälle usw. bekannt. KUKUK bekämpft nun (1909 p. 1145) in Mißverständnis die Meinung, die Dolomitknollen könnten Seebälle sein, da die Knollen in situ entstanden sein müßten. Das ist nach dem Vorausgehenden auch meiner Meinung nach zweifellos richtig, aber, wenn ein Humuslager Seebälle enthält, so ist ihre ganze pflanzliche Struktur anders beschaffen als die einbettende Umgebung, und dadurch können Seebälle Attraktionszentren und infolgedessen die Veranlassung zur Bildung von Dolomit- usw. Knollen gerade dort geben, wo sie liegen. Die Tatsache, daß die Pflanzenteile in den Dolomitknollen oft parallel zueinander liegen wie in Seebällen, würde die Idee unterstützen, und es mögen wohl Seebälle in der Tat gelegentlich einmal Veranlassung zu Konkretionen gegeben haben; jedenfalls wollte ich auf diese Möglichkeit aufmerksam gemacht haben.

Da der in Rede stehende Vorgang der Dolomitierung usw. zu einer sehr frühen Zeit stattgefunden haben muß, als der Torf noch stark wasserdurchtränkt war, ist es begreiflich, daß nach dem Zusammensinken und bei nach und nach mit fortschreitender Inkohlung fester werdendem Humusgestein, die Knollen sich gegeneinander etwas verschieben, ihre Lage verändern konnten. Wo dies — etwa durch eine Nichtkontinuität von Pflanzenresten in nebeneinanderliegenden Knollen — beobachtet werden kann, darf daher nicht auf eine Herzuführen der Knollen als Geschiebe geschlossen werden, wie dies JAMES LOMAX tun möchte. Da müßte man ja auch die Teile der nachträglich zersprungenen Geschiebe (vergl. BARROIS 1907 p. 329, KUKUK 1909), wo die ersteren sich gegenseitig etwas verschoben haben, als stückweise transportiert ansehen, wobei es nur höchst wunderbar wäre, daß sie sich so wieder zusammengefunden hätten.

Wo die Einwirkung von immer neuem Meerwasser lange genug statthaben konnte, vermochte auch einmal das Humuslager in seiner ganzen Mächtigkeit vollständig zu intuskrustieren, eventuell speziell zu dolomitisieren. Einen solchen Fall hat AUBREY STRAHAN (1901)

bekannt gemacht, der freilich an Allochthonie glaubt. Er beschreibt ein Kohlenlager des Parkgate-Reviere in England, das allmählich in ein Dolomitlager übergeht, indem sich zunächst Lager kleiner Dolomitkugeln einschieben, bis dann schließlich das ganze Kohlenlager durch eine Dolomitschicht ersetzt ist.

Über den mehr oder minder dolomitisierten Steinkohlenlagern, so z. B. in den sie bedeckenden Tonschiefern und auch sonst, finden sich oft Sphärosiderite, d. h. Toneisensteinknollen. Sie sind mit ähnlichen Eisenbildungen in unseren heutigen Flachmoortorflagern zu vergleichen. Insbesondere interessiert uns das Zusammenauftreten mit den dolomitisierten Kohlenlagern. In diesen Fällen pflegen die Sphärosiderit-Konkretionen als heterogene Bestandteile, von denen die Konkretionen ausgegangen sind, Reste von Meerestieren (Molluskenschalen u. dergl.) zu enthalten. Es wird vielleicht schwer auszumachen sein, ob die Dolomitisierung schon begonnen hat, bevor eine Bedeckung mit anorganischem Sediment stattgefunden hatte, oder erst nachdem dies geschehen war. Ist letzteres der Fall, so wäre anzunehmen, daß beim Eindringen des Meereswassers das in ihm freilich heute fast nur in Spuren vorhandene Fe zuerst niedergeschlagen wurde, wodurch Toneisensteinknollen im Hangenden der Kohlenlager entstanden. Erst nachdem das Gros des Eisens niedergeschlagen war, geschah dies (mit dem übrigen Eisen) auch mit dem Kalk, der dann die Dolomit-(Eisenspat-)Knollen bildete. So wird man sich die Sonderung und das Zusammenauftreten der Eisen-Inkrustate und der Dolomit-Intuskrustate erklären können. Es würde dies dem sogenannten Gesetz vom „Kalk und Eisen“ entsprechen, nach welchem dort, wo neben Kalk auch Eisen vorkommt, der Kalk als Wiederablagerung in größerer Menge auftritt als Eisenverbindungen, weil zunächst wesentlich Calciumcarbonat in Lösung übergeht und erst nach seiner Auflösung das Ferrocyanat durch Auflösung als Ferrobicarbonat in Bewegung kommt. Wo Bedingungen für eine Fällung vorhanden sind, ist es dann umgekehrt, d. h. zunächst geht das Eisen heraus, sodann der Kalk. Das Eisen mag auch aus herzufließendem Süßwasser herkommen, das sich mit dem Meereswasser vermischt, oder auch aus dem von dem Meereswasser durchtränkten Sediment.

In heutigen Untermeer-Torflagern habe ich keine den Dolomit-Knollen vergleichbare Konkretionen gefunden, aber ich habe nur ganz gelegentlich darauf achten können: es bedürfte die diesbezügliche Untersuchung eines systematischen Vorgehens. Es wäre wertvoll, danach zu suchen. Jedenfalls ist es bekannt, daß Humus (also auch der Torf) ein hervorragendes Absorptionsvermögen für gelöste Salze hat: wurde doch sogar früher an der Nordsee der Untermeer-Torf zur Salzgewinnung verbrannt.

Die Tropen-Sumpfflachmoor-Natur der Carbonmoore

Ich habe mich von Anbeginn meiner Kenntnis der palaeozoischen Floren, wie das aus meinen früheren Schriften zu ersehen ist, stets auf dem Standpunkt befunden, den ich dann 1909 eingehender und befriedigend begründen konnte, daß nämlich die palaeobotanischen Tatsachen dazu drängen, die Carbonmoore als fossile Tropenmoore¹⁾, mindestens aber als solche anzusehen, die unter frostfreiem Klima entstanden sind. Dieser dauernd festgehaltene Standpunkt ist es denn auch, der schließlich zur Aufklärung geführt hat.

Moorbildung unter Tropenklima.

Die Moorkundigen waren bisher der Meinung, daß unter tropischem Klima Moore nicht vorhanden seien und sich demnach nicht bilden könnten.

Wenn auch tropische Hitze die Zersetzung organischer Substanzen wesentlich beschleunigt, so fehlen doch unter tropischem Klima Humusböden durchaus nicht. Stark humose oder mit einer schwächeren Humusschicht bedeckte Waldböden sind dort vorhanden; aber ein hinreichender Nachweis über das Vorkommen von echten Mooren unter Tropenklima war bis jetzt nicht geführt worden. Man könnte meinen, daß die große Produktion organischer Substanz in den Tropen die Zersetzungsintensität generell übertreffen könne. „Wenn die Menschen Deutschland verließen, so würde dieses nach 100 Jahren ganz mit Holz bewachsen sein“, so beginnt HEINRICH COTTA seine Anweisung zum Waldbau, und A. MÖLLER fügt (1891) hinzu: „Wenn die Menschen Blumenau (in Brasilien) verließen, so würde dieses in 10 Jahren ganz mit Holz bewachsen sein“. Hr. Dr. S. H. KOORDERS (ein erfahrener Kenner tropischer Vegetation) machte mir ferner Mitteilungen über spontane Neubewaldungen in den Tropen und speziell über diejenigen Spezies, die dazu an erster Stelle beitragen. Danach hat sich eine Strecke auf der Insel Nusa Kambangan in der Provinz Banjumas in Mittel-Java innerhalb 30 Jahren durch einen Urwald mit über 25 m hohen Bäumen auf der Ostspitze genannter Insel bedeckt, während der Genannte auf der Westseite ein ähnliches Tal innerhalb 7 Jahren spontan wieder mit Mischwald bestanden fand. Der Boden war in dem letzten Fall sehr deutlich humos geworden; es fand sich aber keine ausgesprochene, auch noch so dünne Humusdecke. W. DETMER teilt (1907) mit, „daß eine Maispflanze in Buitenzorg auf

¹⁾ Wenn oben und im folgenden kurz von Tropenmooren die Rede ist, sind hier stets die Moore auf Geländen mit Tropenklima gemeint, nicht kältere Gelände, wie sie auf Gebirgen auch der Tropen vorhanden sind, die dann natürlich unter den sonst für Moorbildung günstigen Bedingungen Moore aufweisen, wie die gemäßigten und kälteren Klimazonen der Erde.

Java an lufttrockener Substanz der oberirdischen Organe in 32 Tagen 29,5 g, in Jena in 32 Tagen jedoch nur 6,5 g produziert hatte, in den Tropen also in dieser kurzen Zeit etwa fünffach soviel wie bei uns. Sehr interessante vergleichende Angaben über die Schnelligkeit des Wachstums und das erreichte Körpervolumen von Pflanzenarten einerseits in den Tropen, anderseits in Deutschland gibt Dr. KOORDERS. Danach erreicht z. B. eine 9jährige *Albizzia moluccana* auf günstigem Boden eine Gipfelhöhe von 33 m, eine 9jährige Buche jedoch bei uns kaum 2 m Höhe, eine gleichalterige Lärche etwas über 4 m und eine ebenfalls 9jährige Edeltanne etwa 1 m. Bei erreichtem 17. Lebensjahre sind die respektiven Zahlen für *Albizzia* 44 m, für die in Deutschland gewachsenen angegebenen Arten, nämlich die Buche rund 3,5—4 m, die Lärche 10 m, die Tanne etwa 3 m. Hinsichtlich des Volumens zeigte ein 33 m hoher, 9 Jahre alter Baum von *Albizzia* 6,6 cbm sogenanntes Derbh Holz (das ist Holz über 10 cm Durchmesser), „diese Produktion wird in Europa nur bei einigen Bäumen im 80. bis 100. Jahre erreicht“. Dabei ist zu beachten, daß solches Holz von *Albizzia* ein vielfach gebrauchtes Bauholz ist. Nach DETMER soll man „in den tropischen Urwäldern, weder in den brasilianischen noch in den javanischen, keineswegs eine so bedeutende Menge umgesunkener Baumriesen antreffen, wie man von vornherein erwarten sollte. Im Gegensatz dazu fällt“ — sagt er weiter — „die große Anzahl modernder Stämme, welche den Boden mitteleuropäischer Urwälder bedecken, um so mehr auf“, wie z. B. im Luckenwald am Kubani in Böhmen. Dr. KOORDERS sagt mir aber, daß in den wirklichen Urwäldern, wo besonders feste Hölzer vorkommen, wie in *Tectona*-Urwäldern in der Provinz Remba (Mittel-Java), umgefallene Bäume viele Jahrzehnte hindurch in großen Mengen liegen bleiben und dann noch zum Export brauchbar sind. Sie werden von der niederländischen Regierung verkauft, bzw. es werden Strecken zum Herausholen dieser toten und herumliegenden Stämme verpachtet. Auf einer weiter unten noch näher bezeichneten Expedition in Mittel-Sumatra, an der Dr. KOORDERS als Botaniker teilgenommen hat, fanden sich im tiefsten, immergrünen Mischhochwald eine sehr große Zahl gefallener Waldriesen, die das Passieren unter Umständen sehr beschwerlich machte.

Immerhin ist zu sagen, daß in den gemäßigten Zonen in der Tat die Zersetzung von Pflanzenmaterial sehr viel langsamer vonstatten geht als in den Tropen, und daß in diesem die größere Wachstumsintensität meist nicht ausreicht, um hinsichtlich der Humusproduktion mit der gemäßigten Zone konkurrieren zu können. Die in Mitteleuropa fehlenden Termiten helfen die Zersetzung in den heißen Ländern wesentlich beschleunigen und die Zerstörung durch Pilze ist weit intensiver. Was aber in erster Linie in Betracht kommt für die Hintanhaltung der Zersetzung, das ist ständige Nässe und Feuchtigkeit. Wo die Niederschlags-

mengen überwiegen gegenüber der verdunstenden und versickernden Wassermasse, da haben wir in den gemäßigten Zonen vermoortes Gelände.

Man sollte denken, daß auch in den Tropen an solchen Örtlichkeiten, wo eine Sumpfvvegetation Gelegenheit hat, sich in ganz stagnierendem Wasser zu zersetzen, auch bei dem Abschluß, den das Wasser bewirkt, feste Produkte, d. h. Torf, zurückbleiben müßten, wie es denn auch tatsächlich tropisches Sapropel gibt. Organisches Material läßt namentlich unter stagnierendem Wasser einen relativ reichlichen kaustobiolithischen Rest zurück. Diese Tatsache hatte mich denn auch veranlaßt, zu bitten, nach tropischem Sapropel zu suchen, und mich auch bewogen, unermüdlich anzuregen, nach tropischen Flachmoortorfgebänden zu fahnden. Denn daß nach der angegebenen Richtung hin die Tropen erst ganz oberflächlich bekannt sind, ist zweifellos. In den Tropen sind sumpfige Gelände gesundheitsgefährlich oder doch als solche gefürchtet, anderseits auch schwer begehbar. Von den in den Tropen vorkommenden Sumpfwäldern, Sumpfbüschen wissen wir daher noch nicht viel. „Im Gegensatz zu den Mangroven — sagt A. F. W. SCHIMPER (1898) — sind die gemischten Waldbestände der Süßwassersümpfe im Innern von Birmah, Sumatra und Borneo bisher nur sehr wenig untersucht worden, obwohl sie sowohl floristisch wie ökologisch viel Eigenartiges zu bieten scheinen“.

Unentwegt habe ich Jahre hindurch in Sitzungen, wo Reisende Tropenvegetationen schilderten und wo ich persönliche Beziehungen mit Tropenkennern hatte, nach dem Vorkommen von echten Mooren (mit Torfuntergrund!) gefragt und endlich habe ich auf diesem Wege in der Tat eine interessante Auskunft von Herrn Dr. S. H. KOORDERS erhalten. Es handelt sich um ein großes, mit einem über 30 m hohen, immergrünen Mischwald bestandenes Flachmoor, das er im Jahre 1891 als botanischer Teilnehmer der holländischen Mittel-Sumatra-Expedition durchquerte und das sich in der heißen Ebene des flachen, östlichen Teils der genannten Insel, und zwar an dem linken, nördlichen Ufer des Kamparflusses, in einer Entfernung von mehr als 90 km von der Meeresküste befindet.

Um aber das in Rede stehende Gelände wirklich zweifellos als Moor ansprechen zu können, fehlte zunächst noch der strikte Nachweis, daß der Boden ein mächtigerer Torfboden sei. Diese Lücke ist jetzt beseitigt. Denn meine Bitte, eine ordentliche Bodenprobe des in Rede stehenden Moores zu besorgen, hat die Ausführung einer kleinen Sonderexpedition durch J. G. LARIVE zur Folge gehabt. Der Genannte hat bis 9 m Torfmächtigkeit in dem Tropenmoor konstatiert. Eine statistische Aufnahme der einzelnen, noch unter dem Mikroskop figuriert erhaltenen Objekte in dem Tropentorf ergibt natürlich (vergl. vorn p. 59—61) kein genaues Bild über die Häufigkeit und Seltenheit bestimmter Gruppen, d. h. über diejenigen, die wesentlich oder nur unwesentlich zur Torf-

bildung beigetragen haben, weil die einen sich vollständig oder intensiver zersetzen und andere wie Moosreste, Sporen und Pollen eine bedeutende Erhaltungsfähigkeit bewahren; jedoch läßt sich, wenn man die Objekte einigermaßen in der angedeuteten Richtung zu beurteilen versteht, doch wenigstens in vielen Fällen ein generelles Bild über die ursprüngliche Flora gewinnen. In unserm Fall haben wir den Vorteil, die Zusammensetzung der lebenden Flora zu kennen, in ähnlicher Weise wie das im produktiven Carbon der Fall ist, wo wir in gleicher Weise die die Steinkohle bildende Flora mit den mikroskopischen Bildern der Steinkohle selbst vergleichen können. Und da zeigt sich denn insofern eine volle Übereinstimmung, als wir bei unserem Tropentorf sowohl wie bei der Humussteinkohle des produktiven Carbons im mikroskopischen Bilde wesentlich Reste höherer Pflanzen beobachten. Diese mikroskopischen Bilder stimmen so weitgehend überein, wie man es auf Grund der Verschiedenartigkeiten der Floren hinsichtlich der Pflanzenfamilien, die vertreten waren beziehungsweise vertreten sind, nur verlangen kann. Es fanden sich: 1. viele Gewebefetzen von Phanerogamen; 2. Sporen beziehungsweise Pollenkörner; 3. dünne Stengelreste ohne ordentliche Gewebesonderung und ohne Spaltöffnungen, die vielleicht Moosstengel sind; sie waren aber nur untergeordnet vertreten; 4. braune hyphenartige Fäden, ebenfalls nur spärlich vorhanden, könnten vielleicht zu Pilzen gehören; 5. harzähnliche Körperchen usw. — Bei dem hohen Kieselsäuregehalt der Torfasche wäre das Fehlen von Diatomeen-Schalen in den Präparaten hervorzuheben; Algenreste und andere Sapropel bildende Organismen wurden überhaupt nicht beobachtet. Aus einer chemischen Analyse des Tropentorfes verglichen mit Analysen guter norddeutscher Flachmoortorfe ergibt sich, daß die Torfnatur des Tropenflachmoorbodens ganz und gar nichts zu wünschen übrig läßt. Nach den Begriffen unserer norddeutschen Torftechniker handelt es sich um einen guten Brenntorf: besitzt er doch nur einen Aschengehalt von 6,39 v. H. der absolut trocknen Substanz (gegenüber z. B. 5,05 und 7,04 von beliebigen Vergleichsproben guter norddeutscher Flachmoortorfe). Dabei ist zu berücksichtigen, daß als Brenntorf noch ein Torf bezeichnet wird, der bis 30 v. H. Asche enthält. Danach ist der Tropentorf ein besonders guter Brenntorf und zwar ein absolut typischer Flachmoortorf. Bemerkenswert ist der hohe Kieselsäuregehalt der Tropentorfesche, nämlich 74,19 v. H. (gegenüber 17,99 respektive 6,72). Die brennbare organische Substanz ist in allen 3 Proben ziemlich gleich (93,53 respektive 94,93 und 93). Es sei hierzu erwähnt, daß auch die Steinkohlenaschen besonders viel Kieselsäure (und Tonerde wie auch in der Tropentorfesche) zu enthalten pflegen. Als Beispiel diene die folgende Analyse (nach GRUNDMANN 1865) einer (Humus-) Steinkohlenprobe aus dem Sattelflöz (der Königsgrube) Oberschlesiens. Die Kohle enthielt

2,085 % Asche und diese bestand aus 55,40 Kieselsäure, 18,95 Tonerde, 16,06 Eisenoxyd, 1,87 Magnesia, 3,21 Kalk, 2,05 Kali, 1,73 H_2SO_4 und 0,36 Phosphorsäure.

Damit ist der Nachweis geliefert, daß auch unter Tropenklima an dauernd mit ruhigem Wasser besetzten Örtlichkeiten große Torflagerstätten und zwar große Sumpfflachmoore entstehen können: wohlverstanden in erster Linie oder vielleicht ausschließlich Sumpfflachmoore oder allgemeiner Sumpfmoores, weil kaustobiolithisches Material sich überall unter Wasser leichter erhält als über dem Grundwasser.

Unser Resultat — das sichere Vorkommen eines großen ordentlichen autochthonen Torflagers unter Tropenklima, noch dazu in der Nähe des Äquators — hat nun für die Erkenntnis der Kohlenlager führenden geologischen Formationen, zumal des Paläozoicums, eine hervorragende Bedeutung. Denn bei der Tatsache, daß die Pflanzen der produktiven Steinkohlenformation tropischen Habitus und sonst Eigentümlichkeiten aufweisen, die heute die Tropenpflanzen auszeichnen, ist die Frage nach der Torfbildung in den Tropen für uns von Wichtigkeit: glaubte man doch — veranlaßt durch die immer wiederkehrende Angabe des Fehlens von Torflagerstätten unter Tropenklima — zu besonderen Hypothesen greifen zu müssen, um den Widerspruch zu lösen, der sich in dem Vorkommen fossiler Moore (Steinkohlenlager), gebildet aus Vegetationen von Tropenpflanzen-Habitus, zu erkennen gibt. Auch in diesem Falle kommen wir also nunmehr zur Erklärung dieser Erscheinung vollständig mit Vergleichsdaten aus, die uns die heutigen Verhältnisse bieten. Trotzdem erst nachzuweisen war, daß wirklich an geeigneten Stellen in den Tropen Moorbildung fehle, war doch die Ansicht, daß dies der Fall sei, dermaßen in succum et sanguinem der Gelehrten übergegangen, daß sich dies zu weitgehenden irrtümlichen Folgerungen verdichtet hat.

Es sei nunmehr die Flora unseres Tropen-Sumpfflachmoores mit derjenigen der Flora des produktiven Carbons verglichen, um zu sehen, welche Erkenntnisse über den Charakter der letzteren daraus zu gewinnen sind.

Aus der KOORDERSschen Darstellung, die sich in meiner Abhandlung von 1909 findet, sei das Folgende hervorgehoben. Er veranschlagt die durchquerte Breite des Süßwasser-Sumpfwaldes am linken Kamparufer auf 12 Kilometer und die vermutliche Oberfläche auf mehr als 80000 Hektar. Bei den beiden Biwaks inmitten des Moores wurde nur stagnierendes Süßwasser beobachtet von dunkelbrauner Färbung und von sehr schwach adstringierendem Geschmack, mitunter sehr schwach bitter, immer fast geruchlos und immer schön durchsichtig, ohne Trübung. Der Gebrauch dieses wie starker klarer Tee aussehenden

Wassers zeigte sogar auch bei ungekochtem Gebrauch bei keiner der mehr als 250 Personen starken Expeditionskolonne auch nur die geringsten Nachteile. Das Betreten des Moores war nur dadurch möglich, daß es überall mit einem Walde bestanden war, dessen Wurzeln die ganze Oberfläche mit einem dichten Netze bedeckten. Große Schwierigkeiten wurden bei dem Marsch dadurch verursacht, daß die meisten Baumspezies von zahllosen aufrecht wachsenden, entweder dünnkegelförmigen, geraden oder dünnzylindrischen, sich später knieförmig oben umbiegenden Atemwurzeln (Pneumatophoren) umgeben waren. Diese aufrechtwachsenden Atemwurzeln (Fig. 52) erhoben sich in einer Höhe von etwa $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ m oberhalb der stagnierenden Wasserfläche. Sie besaßen meist nur 2—4, seltener 6—10 cm im Durchmesser. Die Oberfläche der erwähnten, auch Kniewurzeln genannten Pneumatophoren

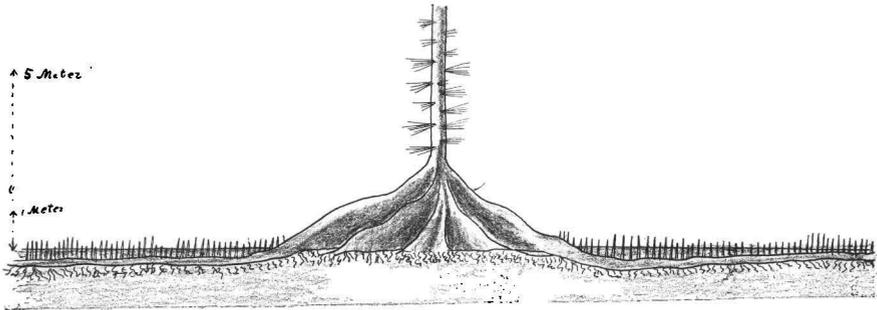


Fig. 52. Einer der Charakterbäume des sumatranischen Tropenmoores mit großen Brettwurzeln, horizontal wachsenden „besenförmigen Luftwurzeln“ und aufrecht wachsenden, spargelförmigen Pneumatophoren. (Original von KOORDERS.)

war in Übereinstimmung mit ihrer Atemfunktion ohne Ausnahme dicht mit großen, kräftig funktionierenden, durch die weiße Farbe auffallenden Atmungsöffnungen (Lenticellen) bedeckt.

Der Moorwald besteht vorwiegend aus sehr eng zusammenstehenden, 25—35 m hohen, immergrünen Bäumen, mit glatten, auffallend geraden Stämmen, welche erst sehr weit oben unregelmäßig verzweigt sind und eine ziemlich dichte, aber nur wenig breite, kleine Krone besitzen. Das Unterholz besteht hauptsächlich aus kerzengeraden Bäumchen, derselben Baumspezies, welche den Hochwald zusammensetzen, aus den Familien der *Guttiferae*, *Burseraceae*, *Meliaceae*, *Myristicaceae*, *Myrtaceae* und *Euphorbiaceae*. Diese Bäumchen zeichnen sich, als Folge des Halbdunkels, in welchem sie vermutlich viele Jahrzehnte ihr Leben fristen müssen, dadurch aus, daß die kerzengeraden Stämmchen nur an ihrer Spitze eine auffallend kleine, schlecht belaubte Krone tragen. Unter den höchsten Waldbäumen dieses Flachmoorwaldes fehlten *Gymnospermen* und *Monokotyledonen* vollständig, und der Hauptbestand war ausschließ-

lich aus *Dikotylen* zusammengesetzt, und zwar aus Repräsentanten solcher Familien, die in dem Malaischen Archipel das Hauptkontingent bilden in immergrünen, hochstämmigen, häufig aus 500—600 Baumarten bestehenden Misch-Urwäldern, wie dieselben in der heißen Ebene dort auf fruchtbaren (sauerstoffreichen, frischen) Böden charakteristisch sind. Bemerkenswert war indessen, daß die den Hauptbestand des Moorwaldes bildenden Baumarten spezifisch verschieden waren von denjenigen Baumarten derselben Gattungen, welche die umgebenden Wälder auf Boden mit nicht stagnierendem Wasser zusammensetzen. Es handelt sich demnach nicht um Abkömmlinge der Salzwasser(Mangroven-)Gemeinschaft, sondern um einen besonderen Pflanzenverein, der sich aus Inlandtypen herleitet. Unter den kleineren Bäumen, sowie unter den Sträuchern sind die Monokotyledonen wohl, aber relativ spärlich, in dem Moorwald vertreten und die Gymnospermen fehlen ganz. Von den baumartigen Vertretern der Monokotylen sah K. nur einige wenige zerstreut stehende *Palmen* und *Pandanus*. Unter den physiognomisch interessanten kleineren Bäumen dieses Moorwaldes verdient ein kleiner *Baumfarn* (*Alsophila?*) erwähnt zu werden, der nur sehr zerstreut auftrat. Unter den *Sträuchern* war die Familie der *Palmae* durch zahlreiche Exemplare vertreten, und unter den *Lianen* spielten die *Palmen* durch sehr zahlreiche Individuen von ein Paar *Calamus*-Arten, besonders an dem nördlichen Saum des Moorwaldes eine sehr wichtige Rolle. Die Kräutervegetation war außerordentlich spärlich, sowohl hinsichtlich der Artenzahl wie auch der Individuen. *Gramineae* und *Cyperaceae* fehlten so gut wie vollständig. Meist war der Boden fast nackt und die kleinen Zwischenräume waren zwischen den in gedrängtem Stande überall über die Oberfläche ragenden, aufrecht wachsenden Atemwurzeln nur durch einige wenig auffallende, kleine Kräuter und sonst nur durch dicke Schichten abgefallener, in Zersetzung begriffener Blätter der Waldbäume bedeckt. *Sphagnen* fehlten ganz und andere *Moose*, wie *Lebermoose*, *Flechten* und krautartige *Pteridophyten* waren nur sehr spärlich vertreten. Epiphyten fanden sich wegen der Glatzstämmigkeit und sehr hohen Verzweigung der Bäume nur in den Kronen der höchsten Bäume. Die zahllosen, mit braunem, stagnierendem Wasser erfüllten Tümpel waren vermutlich z. T. durch Lichtmangel relativ sehr arm an phanerogamen *Wasserpflanzen*, dagegen an durch Windbrüche etwas gelichteten Stellen ziemlich reich an *Fadenalgen*. Im allgemeinen trug die Wasseroberfläche dieser selten mehr wie ein paar Dezimeter tiefen Tümpel keinen Pflanzenwuchs.

Die Stämme des Moorwaldes hatten alle eine ziemlich glatte Rinde (keine Borke) und diese zeigte, besonders an den unteren Stammteilen, in vertikaler Anordnung eine auffallend große Zahl infolge kräftiger Atmungsfunktion schön weiß aussehender Lenticellen. Die meisten

Stämme der Bäume, und besonders der größten Bäume zeigten in unserem Moorwald neben den erwähnten Pneumatophoren noch drei Charaktere, die speziell erwähnt zu werden verdienen, nämlich 1. Stelzwurzeln, 2. Brettwurzeln, und 3. horizontal wachsende besenartige Luftwurzeln. Die Stelzwurzeln und die Brettwurzeln treten in einer so üppigen Entwicklung auf, daß dadurch dem Moorwald ein ganz besonderer Charakter aufgedrückt wird. Zuweilen gehen beide Formen ineinander über, aber im allgemeinen kann man Baumspesies mit ausgeprägten, viele Meter über der Erde ausgedehnten und bis zu 3—4 m hoch an den Stamm heraufreichenden Brettwurzeln beobachten, neben Baumarten, bei denen der 15—30 m hohe Stamm auf einem Gerüst von 2—5 m hohen Stelzwurzeln ruht. Diese brettartigen Stammfußverbreiterungen, Fig. 52, und die Stelzwurzeln sind auf dem weichen, schlammigen Boden als Befestigungsmittel zweifellos sehr nützliche Einrichtungen, aber es darf auch nicht übersehen werden, daß durch diese starken Oberflächenverbreiterungen des Stammfußes der Waldriesen die Gelegenheit für Luftaufnahme (durch Lenticellen usw.) sehr erheblich vergrößert wird. Diese Vermutung wird dadurch gestützt, daß die Brett- und Stelzwurzeln ebenfalls reichlich mit stark funktionierenden, schön weißen, turgeszent ausgestülpten Lenticellen versehen sind. Die ausgesprochene Vermutung, daß die Brettwurzeln neben dem Zweck der Unterstützung des Baumes unter Umständen auch noch (und zwar besonders auf sauerstoffarmem Boden) eine Bedeutung haben für Sauerstoffzufuhr, resp. als Atmungsorgan, wird noch dadurch wahrscheinlicher, daß die Baumspesies der Mangrove, welche keine für die Atmung speziell dienenden Pneumatophoren besitzt, nämlich *Carapa obovata*, sich durch hohe, über die Erdoberfläche laufende Brettwurzeln auszeichnet, die auch hier durch eine große Zahl Lenticellen auffallen. Der dritte oben erwähnte Charakterzug unseres Moorwaldes besteht in der außerordentlich üppigen Entwicklung von höchst eigentümlichen Luftwurzeln, welche büschelartig, bis zu einer Länge von ein bis eineinhalb Meter, horizontal herauswachsen; diese besenartigen Luftwurzeln versehen den im Stamm aufsteigenden Saftstrom mit Sauerstoff. Besonders die Sauerstoffarmut bedingt eine oberflächliche und sehr weit ausgedehnte Entwicklung des gesamten Wurzelsystems; diese konnte an den ziemlich zahlreichen, durch Wind oder Alter umgefallenen, im Walde herumliegenden Baumriesen sehr schön konstatiert werden. Und wie a priori erwartet werden konnte, fehlten Pfahlwurzeln hier immer ganz. Im Zusammenhang mit der durch den gedrängten Stand der hier wachsenden Moorwaldbäume gehemmten, räumlichen Ausdehnung der Ernährungswurzeln sind diese rings um jeden Baum zu einer dichten, der Bodenoberfläche flach aufliegenden, rasenfilzähnlichen Decke infolge außerordentlich reicher Verzweigung ausgebildet.

Der nördliche Saum des Moorwaldes kennzeichnete sich dadurch, daß allmählich die charakteristischen Moorwaldbäume mit ihren Atemwurzeln und anderen interessanten Anpassungen an das Leben im Moore mit dem Steigen des aus lehmigem Quarzsand bestehenden Untergrundes allmählich für andere Baumpezies und andere nicht baumartige Pflanzen zugleich mit auffallender Zunahme von *Calamus*-Arten und anderen Lianen Platz machten. Bei diesen fehlten die physiologischen Anpassungen der Moorpflanzen vollständig oder so gut wie vollständig. Hier an dem nördlichen Saum hatte das Wasser die braune Farbe ganz eingebüßt und war wieder hell und sehr schwach strömend, und bei dem Weiterdringen nach Norden konnte man nunmehr mit einem gewöhnlichen Spazierstock den anorganischen Untergrund fühlen, der in dem eigentlichen Moorwalde sogar mit einem Stock von 6 m Länge nicht erreicht werden konnte. Sobald endlich das aus rein anorganischen Mineralbestandteilen bestehende, trockne, sich ein paar Meter über den Wasserspiegel erhebende Gelände erreicht war, waren alle Charakterpflanzen des geschilderten Moorwaldes gänzlich verschwunden.

Wenn die tropischen Sumpfmooere ihren Torf so weit angehöhrt haben, daß der ganze, früher einmal vom Wasser besetzt gewesene Raum von Torf eingenommen wird, so wird der nunmehr einsetzende Pflanzenbestand demjenigen unserer Standflachmoore entsprechen. Ob es schließlich selbst zu Zwischenmooren oder ihnen faziell gleichzustellenden Mooren kommt: das ist ja alles noch unbekannt. Es sind Zwischenmoore vielleicht aber kaum zu erwarten, weil jede Humusbildung über dem ursprünglichen Grundwasserspiegel bei der Hitze und Feuchtigkeit einer zu eifrigen Zersetzung unterliegt. Bis jetzt ist jedenfalls als unter tropischem Klima Torf produzierend nur unser sumatranisches Sumpfmoor bekannt. Es ist anzunehmen, daß Sumpfmooere in den Tropen verbreitet sind; leider aber mangelt es an Untersuchung der Böden und, wie schon gesagt, selbst der Flora. Unter anderem wäre es wichtig zu untersuchen, wie sich die Humusböden der Tropen in ihren Eigenschaften zu denen der gemäßigten und kalten Zonen verhalten, und hier ist ein Punkt von besonderer Wichtigkeit. Unter den tropischen Wärmeverhältnissen wird die Zersetzung anders vor sich gehen als in der gemäßigten Zone. Es muß daher eine Verschiedenheit zwischen den Humusgesteinen der Tropen im Vergleich zu denjenigen der gemäßigten und kalten Zone vorhanden sein; auch kann gegebenenfalls die Auslaugung von Humusböden in den Tropen viel weiter getrieben werden als bei uns: es müßte dann mehr Schwarzwässer in den Tropen geben als bei uns, und Ansammlungen von Niederschlägen mit Erdalkalien wären in den Tropen reichlicher zu erwarten als bei uns. Dadurch, daß gefrierendes Wasser die löslichen Humusstoffe niederschlägt und, wie es scheint, nicht oder nur zum Teil wieder in Lösung nimmt, wird kundgetan, daß eine chemische

Umbildung mit ihnen vorgeht, der die in den Tropen entstehenden löslichen Humusstoffe nicht unterliegen: deshalb müssen entstehende Humuslager verschiedene Beschaffenheit gewinnen. Wo Frost eintritt, wird eine Humusanreicherung daher aus zwei Gründen unterstützt: 1. weil die Kälte die weitere Zersetzung zurückhält, 2. weil die in Lösung befindlichen Humusstoffe sich niederschlagen und so zum Teil vor Wegführung geschützt werden. Zu 1. ist freilich zu bemerken, daß während der Frostkälte aber auch keine oder doch höchstens eine außer Rechnung zu lassende Humusbildung erfolgt, während in den Tropen das Pflanzenwachstum, die reiche Produktion organischen Materials, anhält.

Moorflora insbesondere des produktiven Carbons und Flachmoornatur der Steinkohlenmoore.

Gerade Moorpflanzen und überhaupt Pflanzen, die die Feuchtigkeit liebten, eigneten sich vermöge ihres Standortes besonders gut, uns in ihren Resten fossil erhalten zu bleiben. Reste von Pflanzenarten, die auf höherem Gelände und in trockneren Gebieten wohnen, erhalten sich kaum oder doch sehr viel ausnahmsweiser als die erstgenannten. Wenn nun auch so gut wie die ganze uns bekannte Carbonflora überhaupt im folgenden im Auge behalten wird, so soll durch den in der Überschrift trotzdem einschränkenden Zusatz „Moor“ die Möglichkeit, ja Wahrscheinlichkeit offen gelassen bleiben, daß es neben der Carbonmoorflora auch eine Flora trockner Gebiete gegeben haben wird, über die wir freilich nichts wissen oder, die wir — wenn Reste zufällig zusammen mit solchen der Carbonmoore resp. der nassen und sumpfigen Stellen uns überkommen sein sollten, — bis jetzt als solche noch nicht erkannt haben.

Auf das Verständnis der Eigentümlichkeiten der palaeozoischen Moore (der Steinkohlenlager), insbesondere des produktiven Carbons mit ihrer Vegetation von Tropen-Habitus wirft nun die Kenntnis des geschilderten Tropenmoores von Sumatra ein wesentlich aufklärendes Licht. Diejenigen Moore der Gegenwart, die man bis jetzt — mangels anderer Beispiele — besonders gern mit den Carbonmooren zu vergleichen geneigt war, wie die gut bekannten großen Moore im atlantischen Flachland des mittleren Nordamerika, so der „Great Dismal Swamp“, liegen nicht in den Tropen, ja im Winter kann es dort sehr kalt sein. Daß da die Vergleichspunkte mit den Pflanzen der Carbonmoore nur entferntere sein konnten, ist klar. Jetzt haben wir aber durch die Darstellung des Sumatra-Tropenmoores einen erfreulichen ersten Einblick in eine Tropenmoorvegetation: wir sind nunmehr in der Lage, auf diejenigen Merkmale der palaeozoischen Floren einzugehen, die im Vergleich mit denjenigen der heutigen Floren auf die Moornatur der Steinkohlenlager des Palaeozoikums hinweisen.

Zunächst ist als Antwort auf die Frage: Sind die Steinkohlenlager und fossilen Humuslager überhaupt fossile Flachmoore oder fossile Hochmoore? auf den Gesamtcharakter der Carbonpflanzen, auf ihre Größe und Üppigkeit hinzuweisen, die unbedingt demjenigen von Flachmoortypen entspricht. Die Hochmoorpflanzen sind klein und tragen xerophytische Merkmale. Auch sei daran erinnert, daß sich bis jetzt im Palaeozoikum noch keine Moosreste gefunden haben, überhaupt nichts, was sich mit einiger Wahrscheinlichkeit so deuten ließe. Es mag allerdings die Epoche der Moose noch in weitem Felde gelegen haben; andererseits ist aber nicht zu vergessen, daß, wenn bereits Moose vorkamen, sie wie in den mit unseren heutigen Tropenmooren zu vergleichenden fossilen (Steinkohlen-) Mooren wohl ebenfalls nicht ihre eigentliche Wohnstätte hatten. In unseren heutigen Hochmooren jedoch spielen die Moose (in erster Linie die Sphagnaceen) unter allen Pflanzentypen die Hauptrolle, und die Moose sind nordische Pflanzen; unsere heutigen Flachmoorpflanzen hingegen weisen auf den Süden. Die Schlußfolgerung: die Steinkohlenlager könnten keine fossilen Moore sein, da Moose fehlten, ist daher falsch und zeugt von vollständiger Unkenntnis unserer heutigen Moortypen.

Die Hochmoorbäume, die wir aus der Jetztzeit kennen, halten hinsichtlich ihrer Dicke keinen Vergleich aus mit den Bäumen unserer Flachmoore und dementsprechend mit denen des Carbons und Tertiärs. Die Legföhre (*Pinus montana*), die auf Gebirgshochmooren Bestände bildet, erreicht nie die Dicke wie sie normal von Bäumen auf Flachmooren erreicht wird. Dabei ist dann noch zu beachten, daß diese immerhin ansehnlichen Bäume der Hochmoore infolge der zurücktretenden Mineralnahrung ein sehr langsames Wachstum, daher sehr festes, kleinzelliges Holz besitzen, im Gegensatz zu den raschwüchsigen, größerzelligen Bäumen der Flachmoore. Die Anatomie der Bäume des Carbons und Tertiärs zeigt die letzterwähnten Eigentümlichkeiten: große Zellen, insbesondere ganz allgemein bei den Carbonpflanzen, und daher durchaus den Habitus schnellwüchsiger Vegetationen.

Inwieweit im Carbon, Tertiär usw. auch Hochmoorbildungen vorgekommen sein könnten oder ob solche sicher ganz fehlen, entzieht sich vor der Hand der Beurteilung. Es ist wohl daran zu denken, daß bei großen fossilen Mooren in zentralen bzw. abgeschlossenen, nicht vom Wasser durchflossenen Teilen, wo infolgedessen ausnutzbare mineralische Nahrung, abgesehen vom Staub der Luft, fehlte, auch wohl Partien mit Hochmoor-Bedingungen entstanden sein konnten, nur haben wir dafür keine floristischen Daten durch die uns erhaltenen Fossilien, wie wir auch noch nicht einmal wissen, wie sich unter gleichen Umständen ein rezentes tropisches Sumpflachmoor verhält.

Die *Calamariaceen* repräsentieren in ihrem Habitus mächtige Röhrichtformen und sie traten auch gesellig wie die heutigen Röhrichte auf (vergleiche hierzu und zum folgenden unser Titelbild Fig. 1). In den *Calamariaceen*-Beständen haben wir es wie in den jetzigen Röhrichtern wohl vornehmlich mit Flachmoorverlandern zu tun: mit Pflanzen der echten Sumpfflora. Die Verlandernatur der *Calamariaceen* spricht sich auch darin aus, daß sie sich fossil besonders gern in Sandsteinen vorfinden. Schon der treffliche Beobachter LYELL hat das bemerkt. Röhrichtböden sind fossil oft genug zu sehen (vergl. p. 121); ein darauf eventuell folgendes Kohlenlager ist dann aus einem Flachmoor hervorgegangen. Auch die übrigen Pflanzengruppen der Carbonmoore, deren heutige nächste Verwandte durchschnittlich kleinere Formen sind, waren zur Carbonzeit vielfach baumförmig, so eine Anzahl Farne, *Lepidodendraceen* und *Sigillariaceen*.

Spricht schon der ganze Charakter der uns bekannten Carbonflora augenfällig für die Flachmoornatur der Carbonmoore, so wird diese sich aus der Flora ergebende Ansicht noch durch andere Tatsachen unterstützt. Diesbezüglich ist zu erwähnen, daß wir in den Gesteinen zwischen den Steinkohlenlagern gelegentlich Tiere finden und zwar auch Meerestiere. Das entspricht ganz und gar dem, was wir von den Strandmooren her kennen, die gelegentlich einem Meerwassereinbruch ausgesetzt sind, der Sedimente und Tiere als Bedeckung des Moores hereinführt.

Ein Moor, das sich auf Landstrecken entwickelt, die leichte Gelegenheit geben, die Moore mit sedimentären Massen zu überschwemmen, wird schon deshalb nur ausnahmsweise ein Hochmoor sein können. Die Übersichtung mit allochthonem Sediment weist darauf hin, daß im allgemeinen wohl auch mehr Wasser mit mineralischen (gelösten) Produkten hineingedrungen sein wird, so die Hauptgrundlage für die Flachmoornatur erhaltend. Hochmoore können sich nach alledem überhaupt nur ausnahmsweise, nur lokal fossil erhalten, da sie die Überschwemmungsgebiete fliehen. Erhalten können sich Kohlenlager nur, wenn sie bedeckt werden: die Herbeiführung von Materialien schafft aber Flachmoorbedingungen, es sei denn der Ausnahmefall vorhanden, daß einmal ein Sediment gar keine oder kaum ausnutzbare Nahrung enthalte.

Auch das Vorkommen von Geröllen und konkretionären Bildungen (p. 142) in den Steinkohlenlagern spricht für ihre Flachmoornatur. Naturgemäß können wir reichlichere Eisen- und überhaupt Mineralmengen nur dort beobachten, wo mineralische Zuflüsse stattgefunden haben. Das ist nur in Flachmooren möglich, nicht in Hochmooren, denn aus den Hochmooren fließt Wasser heraus, keins hinein, es wird eher ausgelaugt. Wir haben z. B. keine Eisenminerale in Hochmooren, wohl aber vielfach in Flachmooren. Steinkohlen- und Braunkohlenlager, die sich als Hochmoorbildungen deuten lassen, sind denn auch, wie gesagt, unbekannt;

es sei aber hiermit nicht gesagt, daß sie nicht noch gefunden werden oder daß nicht bereits bekannte Lager sich bei näherer Untersuchung noch als fossile Hochmoore ergeben könnten. In Anlehnung an die heutigen Verhältnisse müßten dann aber andere Pflanzengemeinschaften, als es üblicher Weise im Carbon der Fall ist, angenommen werden, nämlich solche, die — ebenso wie die bekanntesten Carbonpflanzen Flachmoorformen entsprechen — nun ihrerseits mehr oder minder die Merkmale der heutigen Hochmoor-Pflanzenarten zu erkennen geben. Inwieweit sich in späteren geologischen Formationen die Moortypen unterscheiden, bedarf erst recht noch näherer Untersuchung, wie denn überhaupt in der vorliegenden Schrift Vieles nur angedeutet, aber — um zum Schluß zu kommen — nicht eingehender untersucht werden konnte. Jedenfalls aber könnten — aus den vorgeführten Gründen — fossile Hochmoore nur lokale Erscheinungen sein, aber es ist sehr die Frage, ob unter einem Tropenklima Hochmoore überhaupt möglich sind. Die

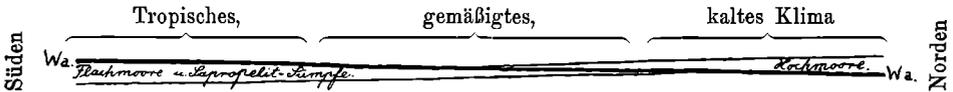


Fig. 53. Schema zur Veranschaulichung der Verteilung der Sapropelit-Sümpfe und Moortypen auf die verschiedenen Klimate. — Wa = normaler Wasserstand unabhängig von den Hochmooren gedacht, die nach Maßgabe ihres Höherwerdens den Grundwasserstand erhöhen.

schematische Fig. 53 soll die diesbezügliche Erkenntnis, die sich aus den bisherigen Tatsachen ergibt, veranschaulichen. In den tropischen und subtropischen Ländern überwiegen danach die Sapropelit- und Flachmoor-, im Norden die Hochmoor-Bildungen und in den gemäßigten Klimaten sind beide mehr gleichmäßig vorhanden und das liegt (vergl. p. 20) an der wegen des O-Mangels überall die Zersetzung aufhaltenden abschließenden Wirkung des stagnierenden Wassers, während über dem Wasser die Zersetzung besonders in den Tropen sehr intensiv ist.

Für die Tropenpflanzen-Natur der Carbonflora sprechen die folgenden Tatsachen:

1. Soweit die fertilen Reste der Farne eine nähere Kenntnis des Baues ihrer Sori und Sporangien zuließen, ergab sich ihre Verwandtschaft mit Familien, die heute in den Tropen zu Hause sind. Unter anderem ist die Verwandtschaft vieler Carbonfarne mit den heutigen *Marattiaceen* erwähnenswert.

2. Während in den heutigen Zonen mit gemäßigttem Klima nur Farnstauden gefunden werden und nur gelegentlich kleine und kurze oberirdische Stämme zur Entwicklung kommen, haben wir es in den Arten des Carbons stark hervortretend, vielleicht überwiegend, mit Bäumen und kletternden, beziehungsweise windenden Farnen

zu tun (Fig. 54). Überhaupt ist das Überwiegen großer, baumförmiger Gewächse im Carbon — worauf schon hingewiesen wurde — auch aus Gruppen, die heute meist krautig sind, zu erwähnen.

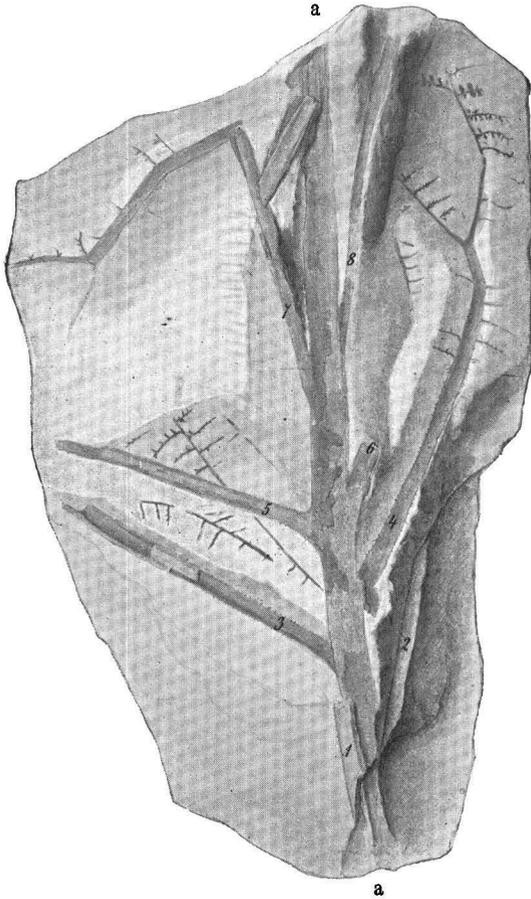


Fig. 54. *Sphenopteris* vom Typus der *S. Hoeninghausi* in $\frac{1}{2}$ der natürl. Größe. a—a Hauptachse; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 u. 8 sind die mehr oder minder vollkommen erhaltenen, der Hauptachse ansitzenden Wedel, die spiralig zu stehen scheinen. — Produkt. Carbon von Ober-Schlesien.



Fig. 55. Stückchen des Wedels von *Pecopteris plumosa* in $\frac{1}{4}$, mit Aphlebias auf der Hauptspindel.

3. Die „Aphlebias“ auf der Wedel-Hauptspindel z. B. von *Pecopteris plumosa* (Fig. 55) sind eine Eigentümlichkeit, die heute nur an Farnen der Tropen beobachtet wird. Die Aphlebias gewinnen im ersten Jugendstadium der Wedel, zu einer Zeit, während welcher die Fiedern noch eingerollt sind, schon ihre volle Größe, so daß die Wedel dann vollständig von ihnen eingehüllt und bekleidet werden (Fig. 56). Sie haben wohl als Schutz- und Taublättchen für die Jugendwedel zu gelten, die

gerade, um schnell aufwachsen zu können, viel Wasser gebrauchen und durch Vermittelung der Aphlebien auch den Tau auszunutzen vermögen.

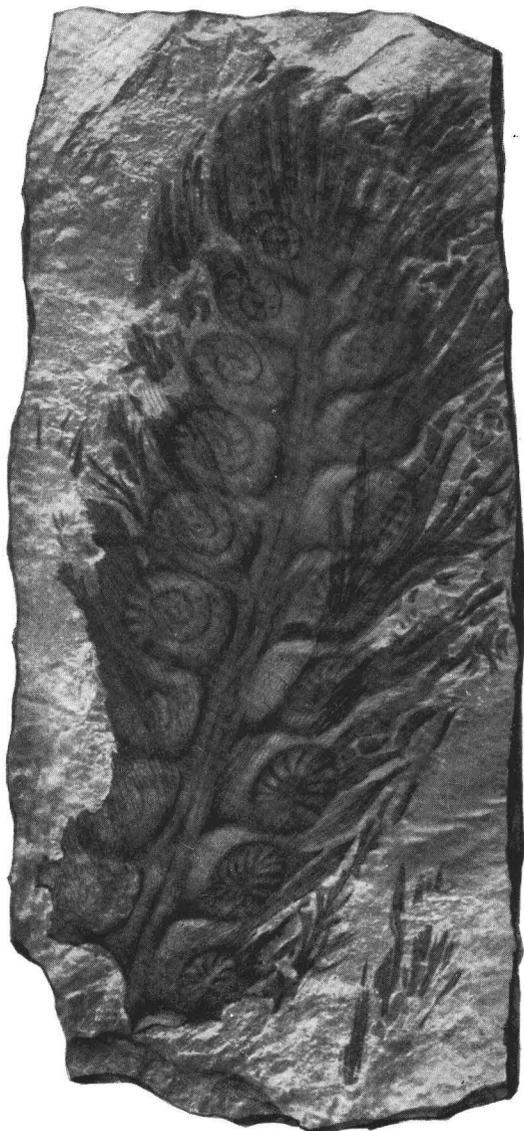


Fig. 56. Junger Wedel von *Pecopteris plumosa* (in ca. $\frac{2}{3}$) aus dem produkt. Carbon des Saar-Revieres. Rechts und links von der Hauptspindel die noch vollkommen eingerollten Fiedern erster Ordnung und die bereits vollständig erwachsenen Aphlebien.

4. Die Größe der Wedel einer bedeutenden Zahl von Carbonfarnen entspricht wohl Verhältnissen, wie sie unter tropischem, nicht aber unter gemäßigttem Klima vorkommen. So große Wedel und Blätter über-

haupt können sich nur dort entwickeln, wo ihnen das Klima sehr günstig ist bzw. genügende Zeit läßt.

5. Wie die tropischen Holzgewächse vermöge des günstigen Klimas nicht selten ein stetiges Dickenwachstum haben und somit oft der durch ein periodisches Wachstum bedingten Jahresringe entbehren, so fehlen Jahresringe oder, besser gesagt, periodische Zuwachszonen den Holzgewächsen des Carbons durchweg. Diese Tatsache ist ferner ein Hinweis darauf, daß den uns bekannten Carbonpflanzen ständig genügend Wasser zur Verfügung stand, wie das in Sumpfmooresen der Fall ist. Denn in den heutigen Tropen steht eine Zuwachszonenbildung überwiegend in Beziehung zu einem Wechsel von nassen Perioden mit trocknen, wie in unserer mittleren gemäßigten Zone zu dem Wechsel eines Winters, der das Pflanzenwachstum wesentlich unterbricht, mit einem warmen Sommer.

6. Ferner ist die Stammbürtigkeit der Blüten (die Cauliflorie) zu erwähnen. Heutzutage sind Gehölze, deren Blüten aus altem Holz (aus Stämmen und Zweigen) seitlich hervorbrechen, fast ganz auf den tropischen Regenwald beschränkt, und bei den Resten aus dem Carbon sind solche Blüten häufig, so bei *Calamariaceen* und *Lepidophyten*, und zwar bei diesen letzteren bei gewissen *Lepidodendraceen* (der „Gattung“ *Ulodendron*, die sich sogar ausschließlich auf jene großen Male an den Stammresten gründet, welche stammbürtigen Blüten entsprechen) und *Sigillariaceen*. Dieses häufige Vorkommen stammbürtiger Blüten bei Carbonpflanzen entspricht der vielfach weitgehenden Arbeitsteilung sämtlicher Organe und Organsysteme der Pflanzen des Regenwaldes der heutigen Tropen. Die letzteren zeigen viel häufiger als die Pflanzen unserer gemäßigten Zone die Ausbildung eigener Sprosse, denen ausschließlich die Arbeit der Ernährung zukommt. Bei den Bäumen mit stammbürtigen Blüten nimmt gewissermaßen die ganze Laubkrone einen solchen Charakter an, und die Nebenarbeit des Blühens und Früchte-tragens wird den älteren Ästen und dem Hauptstamme übertragen. Es ist vielleicht der durch die dichte, tropische Vegetationsdecke bedingte mächtige Kampf ums Licht, der sich darin ausspricht, daß die lichtbedürftigen Laubblätter oft ganz ausschließlich den Gipfel einnehmen, während die Fortpflanzungsorgane an den Teilen der Pflanzen auftreten, die dem Licht weniger zugänglich sind, wo sie jedenfalls die ausgiebige Lebensverrichtung der Laubblätter in keiner Weise behindern.

Schon in dieser Übersicht wurde auf Punkte hingewiesen, die gleichzeitig auf die Moorpflanzen-Natur der Carbonpflanzen, jedenfalls auf Standorte hinweisen, die ständig reichlich Wasser hergeben. Weitere Eigenarten, die auf ein Leben dieser Pflanzen im Feuchten beziehungsweise im Nassen hinweisen, sind die folgenden.

Zunächst sei auf eine palaeozoische Pflanzengruppe aufmerksam gemacht, die man bis auf weiteres nicht gut anders denn als eine dem Wasserleben angepaßte ansehen kann. Ich meine die relativ gut bekannte Familie der *Sphenophyllaceen*. Zunächst stimmen sie im anatomischen Bau ihrer Stengel mit dem untergetauchter Stengel bei Wasserpflanzen überein durch das zentral gelegene Hydrom: wir haben

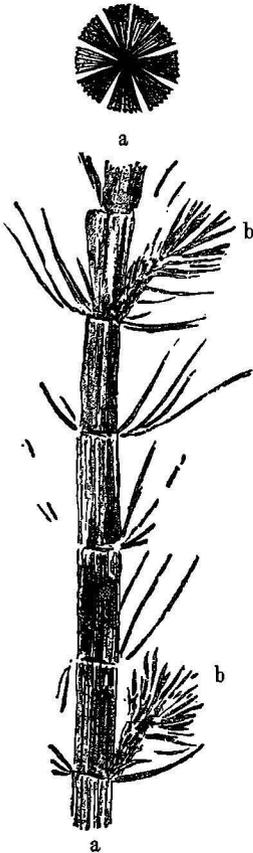


Fig. 57. *Sphenophyllum cuneifolium*.

Natürliche Größe.

in beiden Fällen die zugfeste Anordnung der Gewebe. Dann aber ist die Heterophyllie bei den *Sphenophyllaceen* bemerkenswert, ebenso wie sich bei rezenten Wasserpflanzen die untergetauchten oder „Wasserblätter“ durch ihre Schmalheit oder feine Zerteilung von den flächigeren Schwimm- und Luftblättern unterscheiden. Bei der in Fig. 57 abgebildeten Art sehen wir der Achse a—a ansitzend (1.) rein-lineale, lange Blätter, in deren Achseln Sprosse sitzen (b), die unten (2.) Blätter von tief-mehrfach-gegabelter Keilform tragen, während (3.) am Gipfel der Sprosse rein flächig-keilförmige Blätter ohne Gabelteilungen auftreten, von denen der einzelne Blattwirtel über dem Sproß in unserer Figur eine Anschauung gibt. Der abgebildete zeigt die Zusammengehörigkeit der Blattform 1 und 2; Sproßreste, die das Gleiche von den Blattformen 2 und 3 erweisen, sind noch häufiger.

PH. EBERHARDT hat (1903) den Einfluß der trocknen und der feuchten Luft auf die Tracht und den inneren Bau der Pflanzen untersucht und so eine bequeme Handhabe geboten, diejenigen Merkmale zu erkennen, die für das Leben im Trocknen einerseits und für dasjenige im Feuchten andererseits besonders charakteristisch sind. Wenn gleich die Unterschiede längst bekannt waren, so ist doch die experimentelle Feststellung, daß bei den in den beiden ersten Spalten der folgenden Übersicht gebotenen Merkmalen die Trockenheit

bezw. die Feuchtigkeit die ausschlaggebenden Faktoren sind, von Wert. Je nachdem ein und dieselbe Pflanze in trockner, feuchterer oder feuchter Luft erzogen wird, paßt sie sich der Umgebung durch Hervorkehrung bestimmter Eigentümlichkeiten an, die denjenigen xerophytischer oder hygrophytischer Vereine entsprechen. In der dritten Spalte habe ich zum Vergleich die Ausbildung der entsprechenden Merkmale bei den Carbonpflanzen angeführt, soweit EBERHARDTS Charakteristika in Betracht kommen; andere knüpfte ich dann noch an.

Es zeichnen sich aus:

| 1. Die in trockner Luft erzeugten Pflanzen durch: | 2. Die in feuchter Luft erzeugten Pflanzen durch: | 3. Die Carbonpflanzen durch: |
|--|---|--|
| a) kleine Gestalt, b) kleine Blätter, c) großes Wurzelwerk, d) Behaarung, e) kleine Zellen, f) schwache Mark- und Rinden-, aber sehr hydroïden-reiche, stark entwickelte Holzteile, g) ein schwaches Interzellularsystem, h) viele Sekretionskanäle, i) sklerenchymatische, überhaupt dickwandige Gewebe, k) Beförderung der Korkbildung und dadurch u. a. Abstoßung der Rinde. | a) hohe Gestalt, b) große Blätter, c) geringes Wurzelwerk, d) verminderte Behaarung, e) größere Zellen, f) stark entwickelte Mark- und Rinden- und dementsprechend schwächere (hydroïden-ärmere) Holzteile, g) große und viele Interzellularen, h) weniger entwickelte Sekretionskanäle, i) Herabminderung der sklerenchymatischen, überhaupt dickwandigen Gewebe, k) Verzögerung der Korkbildung. | a) hohe Gestalt, b) meist große Blätter, c) wohl geringeres Wurzelwerk, d) seltene Behaarung, e) große Zellen, f) große Mark- und Rindenpartien und schwache Holzkörper, g) ein gut entwickeltes Interzellularsystem, h) wie es scheint, kaum oder nur selten vorhandene Sekretionskanäle, i) wenig verbreitetes Sklerenchymgewebe, k) wahrscheinlich oft fehlendes Korkgewebe. |

Zunächst gebe ich noch einige Zusätze zu Spalte 3, die sich in der Tabelle ohne Beeinträchtigung der Übersicht nicht anbringen ließen.

Zu a. — Die *Baumfarne* und die *Kletterfarne*, die *Lepidophyten* (*Lepidodendraceen* und *Sigillariaceen*), die *Calamariaceen*, jene Vorfahren unserer Schachtelhalme, ferner die *Cordaitaceen* waren Bäume oder baumförmige Pflanzen.

Zu b. — Die Blätter sind meist groß, zuweilen — wie gewisse Farnwedel — mehrere Quadratmeter groß; die *Lepidophyten* und *Calamariaceen* hingegen besitzen allerdings kleine oder doch sehr schmale Blätter, dafür diese aber in großer Zahl.

Zu d. — Eine Behaarung wird nur bei ganz wenigen Arten wie bei *Neuropteris Scheuchzeri* beobachtet, die aber offenbar nur während des Jugendzustandes der Wedel eine Bedeutung hatten. Denn zwar oft, aber namentlich bei den kurzen Fiedern letzter Ordnung erst nach aufmerksamem Suchen, findet man diese sehr spärlich und zwar nur unterseits behaart; die größeren Fiedern letzter Ordnung pflegen behaarter zu sein. Bei unserer *Neuropteris*-Art dienten die

Haare wohl besonders als Schutz der jugendlichen, erst in der Entwicklung begriffenen Wedel, wie das schon p. 165—166 für die Aphlebien angegeben wurde. Dann ist es bei der bischofstabförmigen Einrollung der Wedel in ihrer Knospenlage begreiflich, daß die zuerst freien, mit der Außenwelt in Berührung tretenden Unterseiten der Fiedern allein behaart waren. Da die Haare sich fossil so ausnehmend gut erhalten haben, ist ihnen wohl eine besondere Resistenz zuzuschreiben, woraus Eindrücke in die noch jugendliche Oberhaut der den Unterseiten zunächst aufliegenden Oberseiten anderer Fiedern zu erklären wären. — Auch einige wenige, kleinfiederige *Pecopteris*-Arten sind behaart.

Zu g. — Die in besonderer Größe und Häufigkeit bei Wasser-, Sumpf- und Moorpflanzen vorhandenen Interzellularräume sind ins Innere des Organismus verlegte Räume, die im Dienste des Gasaustausches, zumal der Atmung stehen, als Ersatz für die fehlende Außenatmosphäre der untergetaucht beziehungsweise in einem dichten Boden lebenden Organe. Als Beispiel für das Vorhandensein sehr großer Lücken im Gewebe sei an das gemeinste Pflanzenfossil des Palaeozoikums, an *Stigmaria*, erinnert. Die als Wurzeln funktionierenden Appendices von *Stigmaria* besitzen ein namentlich hinsichtlich der Hydroïden äußerst schwaches Leitbündel — ebenfalls ein Hinweis auf das stets hinreichend vorhandene Wasser — das durch ein längslaufendes Parenchymband mit der Rinde verbunden ist, d. h. gleichsam in einem Hohlzylinder aufgehängt ist; denn die zylindrischen Appendices sind röhrenförmig. Dieser Bau erinnert etwas an den Bau des Stengels unserer Wasser-Pteridophyte *Salvinia*. Auf dem Fig. 58 A abgebildeten Schliff sind eine Zahl *Stigmaria*-Appendices durchschnitten, die den angegebenen Bau veranschaulichen. — Auch die unter dem Namen *Astromyclon* bekannten Wurzeln der palaeozoischen *Calamariaceen* (Fig. 58 B) ebenso die Wurzeln der als *Psaronien* bekannten palaeozoischen Farnbäume usw. besitzen auffallend lakunöse Wurzeln und deuten daher auf eine Sumpfpflanzennatur.

Zu k. — Wollte man allein nach dem anatomischen Bilde urteilen, so würde man geneigt sein, eine Korkbildung bei den Carbonpflanzen oft anzunehmen; jedoch ist das Dickenwachstum der Stämme in höherem Grade in das Rindengewebe verlegt als in den Holzkörper und solche Gewebe zeigen dann auch genetische Zellreihen aus flachen Zellen, die den Eindruck von Kork machen. Mikrochemisch läßt sich eine Entscheidung bei den Fossilien ja nicht mehr gewinnen; aber es ist wenig wahrscheinlich, daß die namentlich von RENAULT als Korkgewebe angesprochenen Rindengewebe von *Lepidodendren* und *Sigillarien* in der Tat solche Gewebe sind, da diese beiden Familien fast zeitlebens mitwachsende epidermale Gewebe mit verbleibenden Blattnarben besaßen, die also doch dauernd ernährt wurden und daher nicht von der Nahrungsquelle durch Korkgewebe abgesperrt sein konnten.



Fig. 58A. Querschliff-Mikrophotogramm durch einige *Stigmaria*-Appendices aus dem produktiven Carbon. In 8maliger Vergrößerung. Im Zentrum eines jeden Appendix ein sehr schwaches Leitbündel, umgeben von einer sehr großen Lakune, so daß die Appendices Röhren sind, die der Länge nach von einem bis zur Zentral-Linie reichenden Parenchymband durchzogen werden, das am freien, nicht angewachsenen Rande das Leitbündel trägt.

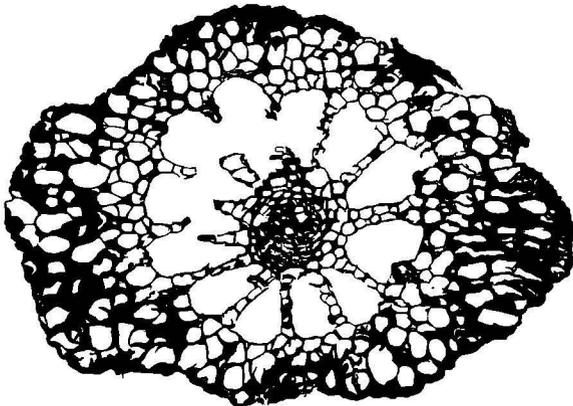


Fig. 58B. Querschliff durch eine *Calamariaceen*-Wurzel („*Astromylon*“) aus dem produktiven Carbon. In 35maliger Vergrößerung. Im Zentrum ein Leitbündel, das von großen Lakunen umgeben wird, die durch Parenchymbänder getrennt werden.
(Nach W. C. WILLIAMSON.)

Es muß außerdem noch auf die folgenden Eigentümlichkeiten hingewiesen werden.

Pflanzen, die regelmäßig in Böden wachsen, die sich nach und nach anhöhen, also zumal Sumpf- und Moorpflanzen, pflegen, sofern sie vieljährig sind — und um solche handelt es sich überwiegend — eine dem erwähnten Umstände entsprechende Anpassung zu besitzen: solche Pflanzen zeigen gern den „Etagenbau“, der ein Mitwachsen der Pflanzen mit dem Moorboden und überhaupt in Böden, die sich regelmäßig anhöhen, gestattet. Stengel des Schilfrohrs usw. zeigen oft an den übereinander liegenden Knoten, den verschiedenen Etagen, Wurzeln (Fig. 59).

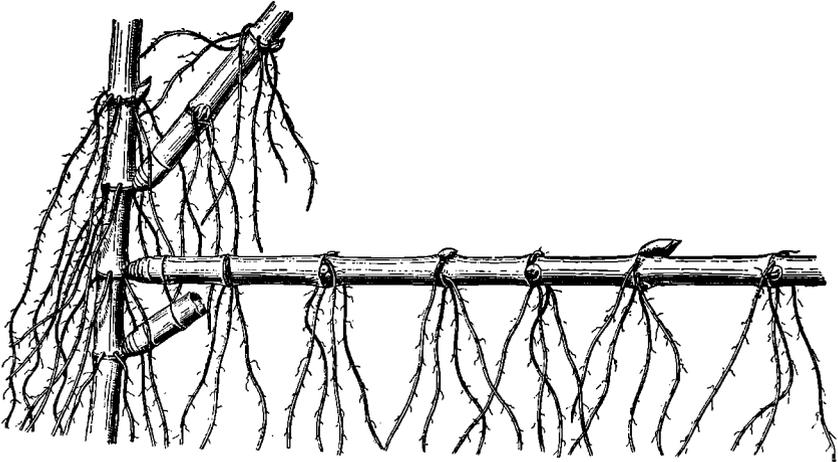


Fig. 59. Schilfrohr-Rhizom, links Etagenbau zeigend, rechts Horizontal-Rhizom mit Vertikalwurzeln.

Es ist klar, daß eine Pflanze, die schon bei einer geringen Einbettung ihrer unteren Partie, ihres Stammfußes nämlich, zugrunde geht, in Mooren dauernd nicht wachsen kann. Wenn wir einen Baum, wie eine Linde, eine Eiche u. dergl., auch eine Kiefer (*Pinus silvestris*), mit Erde einschütten und so den Fuß des Baumes von der Luft abschließen, so stirbt der Baum ab. Deshalb werden kostbare Bäume bei etwai gen Straßenerhöhungen ummauert, so daß die Luft hinzu kann. Die Pflanzen aber, welche, unbekümmert um eine teilweise Einbettung, in der passenden neuen Höhe wieder Wurzeln zu bilden imstande sind, wachsen weiter. Der Etagenbau besteht also darin, daß die Pflanzen, falls die Umstände es erfordern, d. h. insbesondere falls sie auf Mooren wachsen, immer wieder imstande sind, neue Sprosse zu bilden, die die älteren überragen, oder aber den ursprünglichen Sproß weiterzuführen und an den nunmehr eingebetteten Stellen Wurzeln zu bilden. Es ist nun bemerkenswert, daß auch im Carbon Etagenbau beobachtet wird. GRAND'EURY hat (1887) schöne Beispiele von *Calamariaceen*-Stämmen und Farnbäumen

abgebildet, die in verschiedenen Höhen Wurzeln besitzen: Exemplare in Erstreckungen des Stammes von mehreren Metern (Fig. 60). Bei *Calamariaceen* habe ich selbst den Etagenbau ebenfalls wiederholt beobachten können, weil diese Pflanzen, die gern auf Sandboden wuchsen, in dem Sandstein dann durch den Farbenunterschied desselben gegenüber dem Pflanzenrest besonders deutlich hervortreten.

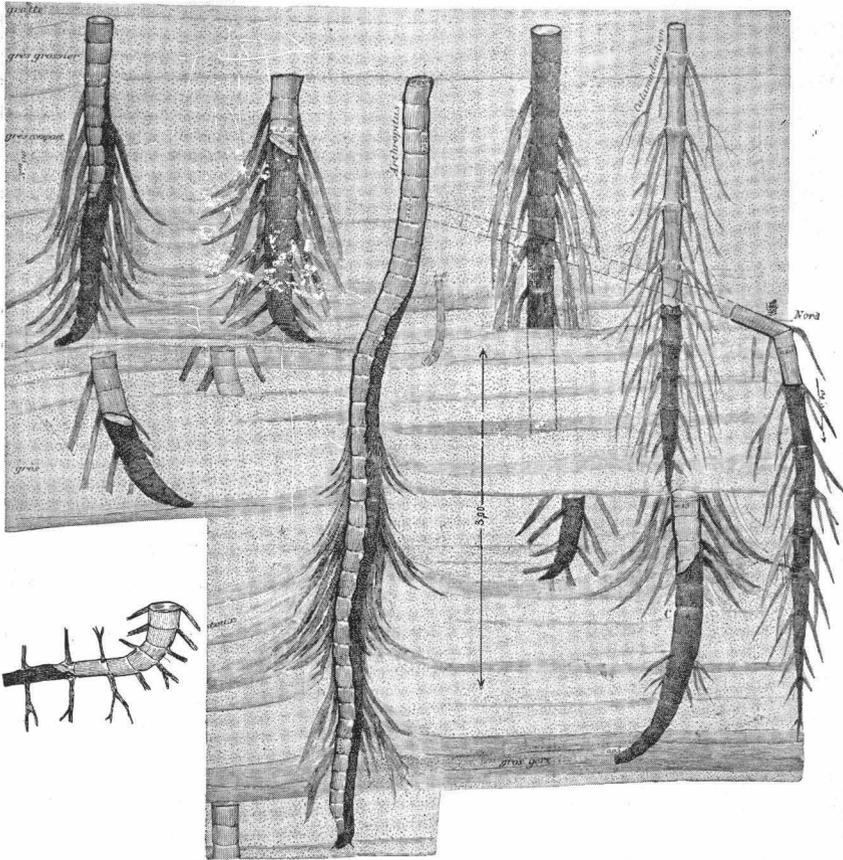


Fig. 60. Unterirdische Organe von *Calamariaceen* (aus der Steinkohlenformation von St. Étienne in Frankreich) mit Wurzeln in den verschiedenen Etagen. ca. $\frac{1}{60}$ der natürl. Größe. (Nach GRAND'EURY.)

Eine der augenfälligsten Erscheinungen ist die horizontale Ausbreitung der unterirdischen Organe. Zu diesen gehören unter den Fossilien die schon genannten gemeinsten, die wir überhaupt kennen: die *Stigmarien* (Fig. 61). Sie sind die unterirdischen Organe der zu den *Lycopodiales* gehörigen *Lepidophyten* (*Lepidodendren*, *Schuppenbäumen* und *Sigillarien*, *Siegelbäumen*). Die horizontale Ausbreitung der wiederholt gegabelten *Stigmaria*-Zweige ist insofern für unsern Fall bemerkenswert, weil diese Eigentümlichkeit durchaus an das Verhalten

der Wurzeln der in Sümpfen und Mooren wachsenden heutigen Bäume erinnert. So zeigt auch unsere Kiefer (*Pinus silvestris*), sofern sie auf Mooren wächst („Moorkiefer“), denselben Habitus ihres Wurzelwerkes

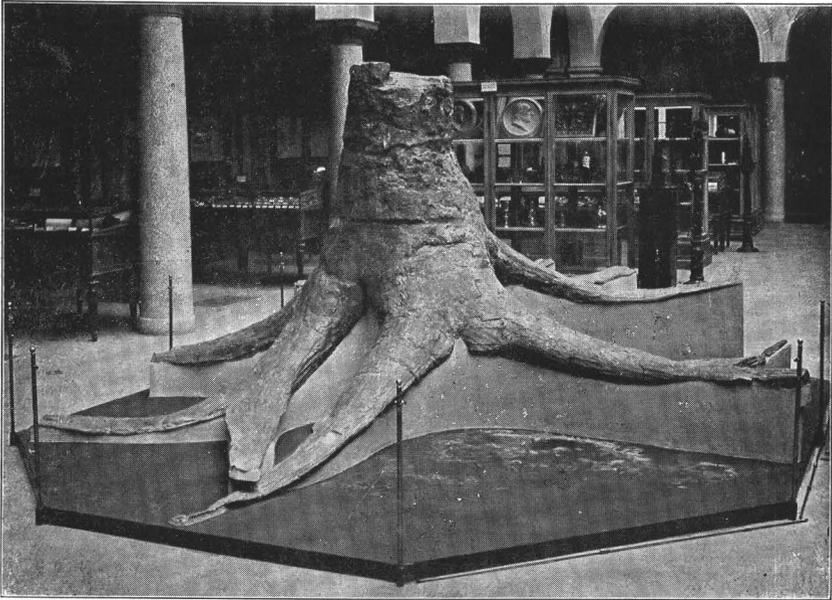


Fig. 61. *Stigmaria* mit Stammstumpf. Vom Piesberg bei Osnabrück. Das Fossil steht jetzt im Lichthof der Kgl. Geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin.

wie die *Stigmaria*-Rhizome (Fig. 62). Ebenso die Fichte (*Picea excelsa*) und die Moor-Birke (*Betula pubescens*) der Zwischen- und Hochmoore. — Pflanzen, die auf so regelmäßig nassem Boden wachsen, wie ihn die



Fig. 62. Stammstumpf einer Moorkiefer mit Horizontalwurzeln.

Moore bieten, brauchen ihre Wurzeln resp. die Teile, die die Wurzeln vertreten, nicht in größere Tiefen zu senden, wie es die Pflanzen auf trocknen Böden nötig haben. G. VOLKENS macht (1887) darauf aufmerksam, daß Wüstenpflanzen, welche die Regenzeit überdauern, un-

gemein lange, senkrecht hinabgehende Wurzeln besitzen, die die oberirdischen Teile der zugehörigen Pflanzen um das 20fache (!) an Länge übertreffen können. Fand man doch bei Gelegenheit der Ausgrabung des Suezkanals auf dessen Sohle Wurzeln, die zu hoch oben auf seitwärts gelegenen Höhen wachsenden Bäumen gehörten. — Wichtiger ist vielleicht noch das Luftbedürfnis, das in größerer Tiefe, in dichtem Torf nicht befriedigt werden kann. — Auch statische Gründe sind wohl für die eigenartige Ausbildung der Wurzeln größerer und daher schwererer Pflanzen in Sumpflandschaften zu berücksichtigen, da die horizontale Ausbreitung des unterirdischen Stützwerkes besser vor dem Versinken



Fig. 63. Vier mächtige *Nyssa*-Bäume (sonst auch *Taxodium*) mit verbreitertem Stammgrund. — (Nach einer auch bei COULTER veröffentlichten, mir freundlichst von der Direktion des Missouri Botanical Garden in St. Louis übersandten Photographie.)

und Umfallen schützt, ebenso wie die horizontale Ausbreitung der Arme oder des ganzen Körpers eines in ein durchlässiges Moor versinkenden Menschen diesen zu retten vermag.

Eine andere Besonderheit möchte man in den gleichen, zuletzt genannten Dienst stellen, nämlich die auffällige, mehr oder minder plötzliche Verbreiterung des unteren Stammteiles bei Sumpfbäumen, wie besonders bei *Nyssa uniflora* (Fig. 63). Hierdurch gewinnt der Baum in seiner unteren Partie eine besondere Schwere, wodurch er — ähnlich den „Steh-auf-Gläsern“ — in vertikaler Lage gehalten wird. Bei Baumstämmen der Steinkohlenformation kann man dasselbe beobachten. Es genügt diesbezüglich auf die Figuren 64 und 65 zu verweisen. Inwieweit diese Eigenheit von Sumpf- und Sumpfmoorpflanzen

vielleicht besser zu erklären wäre, beziehungsweise in erster Linie eine andere Beziehung zum Ausdruck bringt, wäre noch näher zu untersuchen. Denn eine stärkere Verdickung von Stengeln bezw. Stammorganen, soweit sie dauernd oder regelmäßig unter ruhigem Wasser leben müssen, ist häufig. Die Verdickung kommt bei manchen näher untersuchten Fällen zustande durch die Erzeugung eines sehr lakunösen Gewebes, eines Luftgewebes, zur Schaffung des nötigen, sonst nicht vorhandenen Luftmantels. H. SCHENK bildet z. B. (1889) ein Exemplar der Staude *Jussiaea peruviana* aus dem Tropengebiet Südamerikas ab. Sie ist eine in Tümpeln wachsende, mit Rhizomen im Schlammboden kriechende Pflanze, deren nach aufwärts wachsende Laubsprosse, bevor

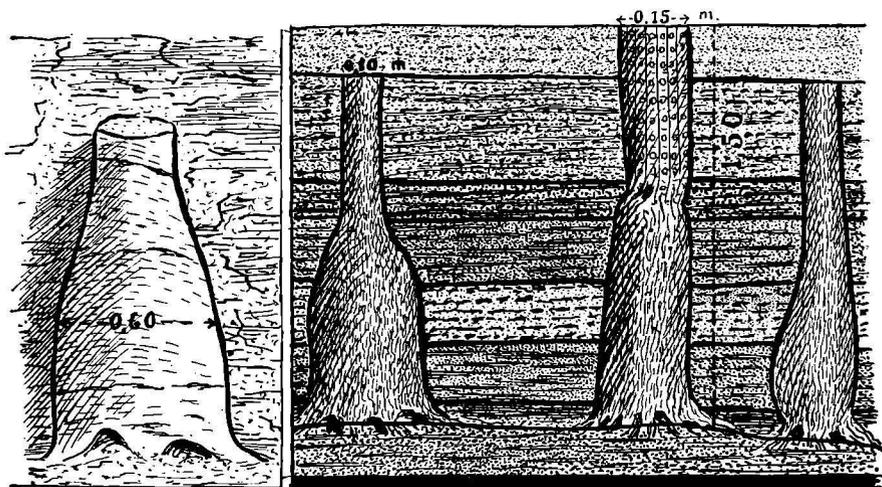


Fig. 64. *Sigillaria*-Stammstücke mit mehr oder minder stark verdicktem Basalteil.
(Nach GRAND'EURY.)

sie den Wasserspiegel erreichen, verdickt sind, während der über dem Wasserspiegel hervorragende Teil dünn ist. Das Rhizom trägt außerdem nach aufwärts gerichtete Atemwurzeln.

Die Anatomie der Lepidophyten-Stämme (sowohl der *Lepidodendraceen* als auch der *Sigillariaceen*) unterstützt die Auffassung des Vorhandenseins von Luftgewebe. Schon ihre relativ dicke Rinde ist auffällig und eine gewisse mächtige innere Lage, die daher auch gewöhnlich gar nicht oder nur andeutungsweise erhalten ist, ist von sehr lockerer Beschaffenheit, und zwar dies schon in den Teilen der Baumstämme, die offenbar außerhalb des Wassers gelebt haben. Die anatomischen Verhältnisse der plötzlich in die Breite ausladenden Basalteile der Stämme, die so auffällig an die mit Luftgewebe bekleideten Basalteile der Stengel unserer heutigen Sumpfpflanzen erinnern, sind uns aber leider fossil noch unbekannt. Der äußere Habitus aber, der so sehr mit demjenigen



Fig. 65. *Sigillaria*-Stammbasis im *Syringodendron*-Erhaltungszustand. Unten der Stamm breit auseinandergehend. Aus dem produktiven Carbon von Zwickau. (Photographie erhalten von der Verwaltung des Zwickau-Oberhohndorfer Steinkohlenvereins.)

heutiger Sumpf- und Sumpfmoorpflanzen übereinstimmt, erlaubt es gewiß, die gleiche Erklärung auch für die Fossilien anzuwenden, umsomehr als gerade die basalen Stammteile von *Sigillariaceen* überdies noch große Male tragen, die man nur mit gewaltigen Lenticellen vergleichen kann, d. h. mit Atmungsöffnungen (Fig. 68). Stücke mit solchen Malen sind als *Syringodendron* sehr bekannt. Man spricht freilich auch sonst von Syringodendren, wenn es sich ganz allgemein um Steinkernoberflächen von *Sigillaria*-Stämmen unter dem inkohlt erhaltenen Teil der Rinde handelt. Die Basalteile der Stämme unterscheiden sich von ihrer Fortsetzung nach oben in ihrer Außenskulptur aber auffallend dadurch, daß eben hier an der Basis die besondere Umgebung, der schlammige, beziehungsweise torfige Boden die Ausbildung vieler und großer lenticellenartiger Organe bedingt hat (die den Seitennärbchen der Blattnarben entsprechen, beziehungsweise ihnen homolog sind). Näheres über diese lenticellenartigen Organe auf p. 181—182.

Die wesentliche plötzliche Verbreiterung der Stammbasen, wie sie viele Lepidophytenexemplare zeigen, ist von GRAND'EURY (1890) namentlich in dem angegebenen Werk am besten zur Anschauung gebracht worden und unsere Figur 64 gibt eine Kopie einiger schöner Fälle. Es ist aber überraschend, daß die Palaeobotaniker bisher noch nicht versucht haben, diese doch gewiß eigentümliche Erscheinung zu erklären, also insbesondere in Beziehung zu setzen zu ähnlichen Vorkommnissen in der Gegenwart. Um in der Deutung der basalen Stammverdickungen sicher zu gehen, wäre eine genauere Kenntnis von *Nyssa uniflora* sehr wertvoll. In der botanischen Literatur habe ich aber über die in Rede stehenden Stammanschwellungen dieser Spezies nur das Folgende bei SAMUEL MONDS COULTER (1904) finden können. Er sagt: Wenn *Nyssa* in dem Sumpf älter wird, findet man, daß der untere Teil des Stammes fortfährt in die Dicke zu wachsen, wodurch bald eine kuppelförmige Basis entsteht, deren äußerer Anblick ganz verschieden ist von der kegelförmigen Basis der *Taxodium distichum*-Stämme, die sich an gleichen Wohnorten befinden. Der erwähnte Prozeß ist begleitet von dem Absterben des Baumgipfels und des Stamminnengewebes, bis der Baum nur noch einer hohlen Kuppel gleicht, deren oberer Teil gewöhnlich verbrochen ist, abgesehen von einigen verbleibenden Zweigen, welche eine geringe Beblätterung tragen Bis jetzt hat eine besondere Funktion für die basale Stammverdickung nicht nachgewiesen werden können. Wo der Wasserstand ein geringer ist, erblickt man nur schwach verbreitete Stammbasen, und wenn stehendes Wasser fehlt, ist der Stamm bis unten hin gleichmäßig zylindrisch ausgebildet.

Man könnte außer den angegebenen Beziehungen noch daran denken, die Stämme seien, im Bestreben sich den Sonderverhältnissen nach Möglichkeit anzupassen, veranlaßt, ihre Stammbasis wesentlich zu

vergrößern, um der Atemfunktion eine größere Fläche zu gewähren; aber nach den obigen Äußerungen COULTERS scheint *Nyssa uniflora* dem Moorleben noch ebenso wenig vollständig angepaßt zu sein, wie unsere Moorerle *Alnus glutinosa*. Mag dem sein, wie ihm wolle, so lernen wir doch aus dem Verhalten von *Nyssa uniflora*, *Taxodium distichum*, *Alnus glutinosa* und anderen in Sümpfen und Mooren lebenden Pflanzenarten, daß sie durch Bildung reichlicher Wurzeln, durch Vergrößerung ihrer Oberfläche, durch Bildung von Luftgewebe an ihrer Basis, und hier auch durch auffällige Verbreiterungen, die in auffälligem Gegensatz stehen zu dem fast rein zylindrischen Bau der Gesamtstämme von der Basis bis zum Gipfel bei Pflanzenarten, die trockne, jedenfalls nicht dauernd vernäßte Böden bewohnen, daß es sich eben in den aufgezählten Merkmalen um solche von Moor- und Sumpfpflanzen handelt. Wenn wir daher die auffälligen basalen Stammverdickungen bei Pflanzen finden, deren Wohnort wir nicht mehr genau nachprüfen können, so ist der Schluß berechtigt: sie dürften ebenfalls Sumpf-, beziehungsweise Moorbäume sein oder gewesen sein. Diese Schlußfolgerung ist demnach auch für unsere Lepidophyten mit basalen Stammanschwellungen unvermeidlich.

Auch *Calamariaceen*, und zwar in diesem Falle mit spindelförmigen auffälligen Stammanschwellungen an ihrer Basis, bildet GRAND'EURY (1890) ab. Wie man aus diesen Abbildungen ersieht — nämlich aus der Calamitenskulptur der dargestellten Steinkerne, die ja eine Schlamm-ausfüllung des Markkörperraumes sind — wird hier die Verdickung nicht durch eine mächtigere Ausgestaltung des Holzkörpers beziehungsweise der Rinde erreicht; die sehr stark vergrößerte zentrale Lufthöhlung des Stammes beziehungsweise der sehr lakunöse Markkörper möchten daher in diesem Falle als Luftraum funktionieren. Auch hier läßt sich GRAND'EURY auf eine Deutung nicht ein, dem ja rein botanische Beziehungen überhaupt ferner lagen.

Eigentümlich sind ferner Stamm- und Stammausbildungen unter den Resten des produktiven Carbons, die an kegelförmige Pneumatophoren erinnern. Während wir es hier ebenso wie bei den Gesamtstämmen von *Taxodium distichum* mit absolut kegelförmigen sich allmählich nach oben verjüngenden Gebilden zu tun haben, zeigten die vorher besprochenen Beispiele Konstruktionen, die sich äußerlich an diejenige von *Nyssa uniflora* anlehnen, d. h. plötzliche Stammverbreiterungen. Die Möglichkeit, daß die zuckerhut-kegelförmigen Stammreste, die unter den *Sigillariaceen*-Resten vorkommen, Gebilde sind, die physiologisch den Pneumatophoren unserer heutigen Sumpfpfypressen (*Taxodium distichum*) entsprechen oder sich ihnen nähern, ist gewiß nicht von der Hand zu weisen (Fig. 66).

In diesem Falle wäre dann die Differenzierung zwischen Pneumatophoren und Stämmen bei den Carbonpflanzen noch nicht so weit vor-

geschritten gewesen wie heute, und dies liegt ganz in der Richtung der Deszendenztheorie. Die eigentümlichen Kegelstämme der Sigillarien sind schon von GOLDENBERG (1855) beschrieben und abgebildet worden und haben zu den falschen Rekonstruktionen von Sigillarien Veranlassung gegeben, die man sich als Lampenzylinderbürsten ähnlich, d. h. als einfache, unverzweigte Stämme mit einem einzigen Schopf Blätter am Gipfel vorstellte. Der größere der beiden in Frage kommenden Steinkerne, die GOLDENBERG bekannt macht, ist $5\frac{1}{2}$ m lang und gänzlich unverzweigt.



Fig. 66. Sumpf-Cypressenmoor aus dem südlichen Nordamerika. Im Mittelgrunde rechts und links ist auf die großen, kegelförmigen Pneumatophoren zu achten. (Nach E. DECKERT.)

Sie zeigen ganz andere Stammformen, als sie üblicherweise Bäume besitzen. — GOLDENBERG sagt: „So wurde ein förmlicher Sigillarienwald aufgeschlossen . . . Die meisten dieser Sigillarien . . . hatten unten 2—3 Fuß im Durchmesser und endigten oben in einer abgerundeten Spitze, ohne irgend eine Spur einer Verästelung zu verraten.“ Einen solchen Stamm bildet der genannte Autor Tafel B, Fig. 13 in $\frac{1}{50}$ der natürlichen Größe ab. Er muß an seinem Grunde einen Durchmesser von etwa 2 m, in seiner Mitte von über $1\frac{1}{2}$ m aufgewiesen haben; er erhebt sich durchaus in Form eines Zuckerhutes bis zu der schon angegebenen Höhe von $5\frac{1}{2}$ m.

Neuerdings — ich habe bei dem Interesse, das die Kegelstämme haben, sehr danach im Saarrevier gefahndet — habe ich dann noch kleinere, bis kaum spannenlange Exemplare kennen gelernt, die bei ihrer sehr schnellen Verjüngung nach oben noch auffallender sind (Fig. 67). Die Kegelstämme GOLDENBERGS tragen Male, die sie als „*Syringodendron*“ charakterisieren. Die diesen Malen entsprechenden Organe nehmen mit dem Dickenwachstum der Stämme an Größe zu — sie können schließlich bis über 2 cm lang sein —, denn sie sind um so größer, je

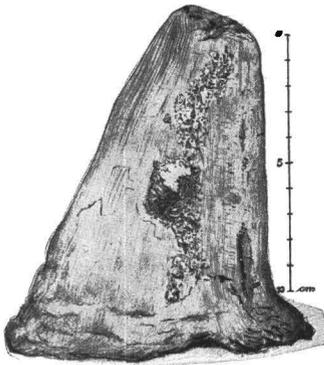


Fig. 67. Pneumatophore (?) einer *Sigillaria* von der Steinkohlengrube Reden im Saarrevier. Steinkern, dem vorn in der Mitte noch ein Teil der kohligen Bedeckung anhaftet.

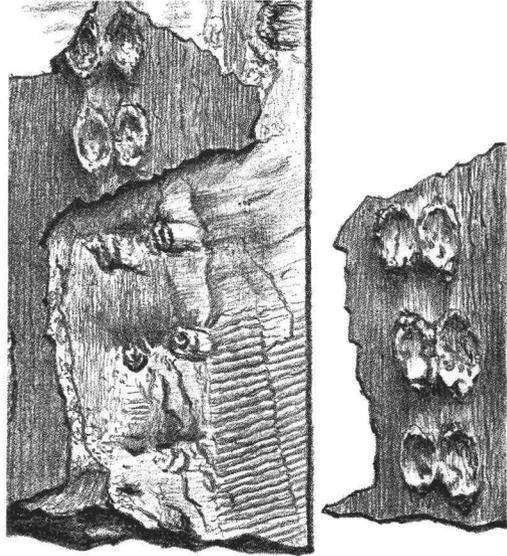


Fig. 68. „*Syringodendron*.“ Oberflächenstück von der Basis eines Stammes von *Sigillaria Brardi* in $\frac{1}{2}$ der natürl. Größe. Die inkohlt erhaltene Rinde — außen mit paarigen, sehr großen Atmungsöffnungen — ist zum Teil abgehoben und rechts neben das Stück gelegt worden, um die (nach links umgelegten) Steinkerne der unter der Rinde vorhandenen Transpirationsgänge („Parichnos“-Stränge) zu zeigen.

dicker die Stammreste sind, die die Male tragen. An solchen besonders dicken Resten sind nun Blattnarben auch dann nicht mehr zu beobachten, wenn noch die Außenrinde inkohlt erhalten ist (vergl. hierzu das schon vorn p. 178 Gesagte). Mir liegen *Sigillaria*-Reste aus dem oberen produktiven Carbon von Wettin vor, welche die untersten Stammteile von *Subsigillaria Brardi* sein dürften, da eine andere bestimmbare *Sigillaria* mit diesen Stücken zusammen nicht vorkommt. Es handelt sich um großmalige *Syringodendron*-Oberflächen. Die die Steinkerne (Fig. 68) bedeckende inkohlte Rinde zeigt nun natürlich auf ihrer Innenfläche die *Syringodendron*-Skulptur der Stein-

kerne im Negativ. Die Außenflächen, Fig. 68 rechts, tragen aber keine Blattnarben wie sonst die *Sigillaria*-Stamm-Außenflächen, Fig. 69, sondern zeigen ebenfalls *Syringodendron*-Skulptur.

Die unteren Stammteile älterer Bäume gewinnen demnach auf ihren Außenflächen eine besondere Ausgestaltung durch Ausbildung der Seitennärbchen der Blattnarben als große Atmungsöffnungen als Anpassung an das Moorleben der Bäume. Es ist nicht recht ersichtlich, welche Funktion sonst für die in Rede stehenden Male angenommen werden könnte, deren Bevorzugung in der Entwicklung der Stammbasis auffällt. Die Auffälligkeit und offenkundige weitere Ausbildung der Male, nachdem die dazu gehörigen Blattspreiten abgefallen sind, drängt zu der Annahme, daß damit ihre Funktion nicht erloschen ist, sondern sich in der angedeuteten Weise nutzbar erhält. Die Anatomie des Gewebes, welches die Male hervorbringt, unterstützt nämlich ihre Deutung als Atmungsöffnungen (Organe des Wasser- und Gasaustausches der Pflanze), denn sie entsprechen den „Seitennärbchen“ der Blattnarben, und diese Seitennärbchen sind die Querschnitte von sehr lakunösen Gewebesträngen, die sich, je einer rechts und links von der Blattspur, durch das Blatt ziehen und in den Stamm eintreten. Diese Transpirationsstränge, wie wir sie nennen wollen, stehen wohl mit zwei Spaltöffnungszeilen auf der Unterseite der Blätter in Verbindung, und nach dem Abfall des Blattes würden dann die Seitennärbchen die Verbindung nach außen aufrecht erhalten und an der Basis der Stämme sogar verstärken. An gut erhaltenen Malen von *Syringodendron* sieht man gelegentlich eine gepunktelt-körnige Oberfläche, die sehr stark an die „Staubgrübchen“ erinnert, jene bekannten Organe an Stämmen und Blattstielen von *Cyatheaceen* und *Marattiaceen*, die den Lenticellen entsprechen.

Die Transpirationsstränge und das sie in den Stamm hinein fortsetzende Gewebe sind sicherlich Durchlüftungsgewebe, Aërenchym im weiteren Sinne. Daß dies bei Lepidophyten der Fall ist — C. EG. BERTRANDS „Parichnos“ ist unser Luftgewebe — habe ich selbst (1893) zu begründen versucht. Bei der Lakunosität dieses Transpirationsgewebes verschwindet es schnell bei der Zersetzung und die in der Rinde dadurch entstehenden Lücken füllen sich dann leicht mit Schlamm aus, welcher Steinkernchen der Transpirationsstränge bildet. Diese Steinkernchen entsprechen den „*Knorria*-Wülsten“, wie sie bei *Lepidodendraceen*- und *Bothrodendraceen*-Steinkernen bekannt sind. Die Steinkernchen sind auf unserer Fig. 68 nach Abdeckung der inkohlten Rinde seitwärts umgelegt deutlich wahrnehmbar.

Die ziemlich glatte Rinde, die nach KOORDERS (vorn p. 158) für die Bäume des tropischen Sumpfflachmoorwaldes bemerkenswert ist, ist für die Bäume des Carbons ganz hervorragend auffällig und hier ist eine Borkebildung bisher überhaupt noch nicht bekannt geworden. Borken-

bildung hängt mit der wesentlichen Herabsetzung der Transpiration zusammen, was für Gewächse auf stets nassem Boden in einem Gebiete ständig warmen Klimas kein Bedürfnis ist. G. HABERLANDT z. B. sagt: „Wie sehr eine vertrocknete Gewebeschicht, mag sie früher dem saftigsten Parenchym angehört haben, die Transpiration herabsetzt, beobachten wir an jedem angeschnittenen Apfel, dessen Transpirationsverluste täglich abnehmen“. Da ist es denn gewiß sehr auffallend, daß sich auch die dicken Stämme der Carbonpflanzen durch eine überraschend glatte Rinde auszeichnen, die noch intakt ihre ursprüngliche, mit der Dickenzunahme mitgewachsene Epidermis besitzen. Wenn die Borkenbildung eine spätere Anpassung ist — und das ist wahrscheinlich — so war bei den Carbonmoorpflanzen jedenfalls noch keine Veranlassung, diese Anpassung zu gewinnen.

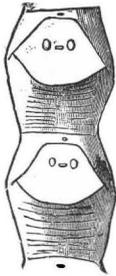


Fig. 69. Zwei Blattpolster einer *Sigillaria* mit je einer Blattnarbe. In jeder Narbe 3 „Närbchen“: das zentrale ist der Leitbündelquerschnitt, die 2 seitlichen („Seitennärbchen“) sind die Querschnitte von Transpirationssträngen.

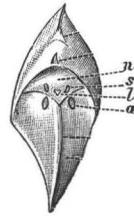


Fig. 70. Ein Blattpolster von *Lepidodendron* in ca. $\frac{1}{10}$. n = Blattnarbe mit der Leitbündelabbruchstelle l und den Seitennärbchen s. a = Atmungsöffnungen.

Haben wir gesehen, daß von den drei Lepidophyten-Familien, d. h. von den *Lepidodendraceen*, *Bothrodendraceen* und *Sigillariaceen*, die erstgenannte durch ihre Atmungsöffnungen auf den Blattpolstern unter den Blattnarben, Fig. 70, und die letztgenannte durch die *Syringodendron*-Male, die wir also für sekundäre Atmungsöffnungen¹⁾ halten möchten, hinreichend für einen Verkehr des Stammes mit der Außenwelt gesorgt haben, so fragt es sich, wie die *Bothrodendraceen* mit ihren sehr kleinen und dabei auch noch weitläufig stehenden Blattnarben diesen notwendigen Verkehr aufrecht erhalten haben. Da ist denn darauf hinzuweisen, daß die epidermale Oberfläche der Stämme der Arten dieser Familie dicht mit Punkten besetzt sind, die in umgrenzten Feldern stehen können. Nach dem ganzen Gedankengange dieser Auseinandersetzung ist es geboten, an die Möglichkeit zu denken, man habe es hier

¹⁾ „Sekundäre“, weil sie erst nach dem Blattabfall aus den querschnittlich der Luft geöffneten Transpirationssträngen entstehen.

in diesen Punkten mit den für Sumpf- und besonders Moorpflanzen notwendigen reichlicheren Verkehrsöffnungen zu tun. Übrigens treten Bothrodendraceen im produktiven Carbon gegenüber den Sigillariaceen und Lepidodendraceen sehr stark zurück.

Bzüglich des Vorhandenseins von Luftwurzeln bei Carbonpflanzen ist jedoch weniger Sicheres zu sagen. Es ist möglich, daß Wurzeln, in höheren Partien von Stämmen, die vorn als Hinweis auf den Etagenbau gedeutet wurden, zum Teil Luftwurzeln waren; bei Farnstämmen wie den *Psaronien* des Rotliegenden ist dies — bei der außerordentlichen Ähnlichkeit ihres Luftwurzelmantels mit dem unserer heutigen mit einem solchen versehenen Baumfarne — wohl sicher; aber es ist in anderen Fällen zweifelhaft, ob man Etagen- oder Luftwurzeln vor sich hat. Ein auffälliges, vereinzelt Vorkommen von Gebilden, die physiologisch mit den üblichen Wurzeln zusammengehören, ist aber vielleicht nunmehr besser aufgeklärt. Ich meine die Reste von *Subsigillaria Brardi*, die unter ihren Blattnarben eine oder zwei Narben von der Gestalt derer für *Stigmaria*-Appendices besitzen. Früher (1899) habe ich über diese Narben gesagt: „Ich halte sie für *Stigmaria*-Narben, die sich an umgestürzten, noch lebenskräftigen Stämmen durch den Reiz der Bodenfeuchtigkeit entwickelt haben, ebenso wie sich bei lebenden Pflanzen oftmals Adventivwurzeln und zwar an morphologisch genau den gleichen Orten, also unter den Narben von Laubblättern, entwickeln können.“ Es sind bis jetzt nur wenige Stücke von *Subsigillaria Brardi* mit solchen *Stigmaria*-Narben bekannt geworden. In unserem Zusammenhange aber gewinnt der Fall noch eine andere Bedeutung, da man nunmehr auch daran denken muß, diese am oberirdischen Stamm sitzenden Appendices könnten gelegentlich auch als Organe entstanden sein, die wie Luftwurzeln funktionierten. Haben wir doch auch in unserer Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) einen Baum, der in stagnierendem Boden ebenfalls nur gelegentlich Luftwurzeln zu bilden vermag.

Erläutern nun auch die vorherrschenden Eigentümlichkeiten der Carbonpflanzen, wenn wir sie mit den heutigen Pflanzen vergleichen, in ihrem Bau ihre Moorpflanzennatur, so ist doch ein Vergleich der floristischen Bestandteile der Steinkohlenformation mit denjenigen rezenter Moore nicht von allzu großem Wert, da die Arten so gänzlich von den heutigen abweichen: immerhin ist hervorzuheben, daß die Gruppen und Familien, zu denen die Steinkohlenpflanzen gehören, sofern sie auch heute noch lebende Vertreter haben, zu solchen zählen, die vorwiegend eine feuchte Atmosphäre verlangen wie die *Farne*, die *Equisetales* und *Lycopodiales*.

Das Titelbild (Fig. 1) soll eine Anschauung davon geben, wie ein Carbonmoor und zwar des mittleren produktiven Carbons ausgesehen haben könnte, denn nur feststehende Einzeltatsachen haben mich zu

dem Bilde geführt, so daß der Gesamteindruck mit Vertrauen als ein solcher genommen werden darf, der der vergangenen Wirklichkeit so nahe kommt, als uns unsere derzeitigen Kenntnisse einen Einblick gestatten. —

Anders als im Carbon steht es nun aber mit der Tertiärformation hinsichtlich eines Vergleichs ihrer Flora mit derjenigen heutiger Moore, da diese Formation viele Pflanzen-Gattungen und -Arten besitzt, die heute noch leben. Wir können uns daher ein recht genaues Bild davon machen, wie die jetzt fossilen Waldmoore, z. B. unseres Miocäns, ausgesehen haben. Haben wir doch heute noch und zwar in der atlantischen Niederung des mittleren Nordamerika sehr große Moore mit einer Pflanzengemeinschaft, deren Arten sogar zum erheblichen Teile dieselben sind wie sie zur Miocänzeit unsere Moore bevölkerten. Unsere Miocänmoore können daher nicht wesentlich anders ausgesehen haben als die Cypress-Swamps (= Cypressensümpfe) Nordamerikas, von denen unser Bild, Fig. 66, eine Anschauung gibt; sie bilden, sagt E. DECKERT (1904, p. 263), „mit ihrem herrlichen Baum- und Strauchwuchse und ihrem Gewirr von Schling- und Kletterpflanzen die ästhetischen Glanzpunkte der Niederungslandschaft“. „Der gewaltige Artenreichtum der nordamerikanischen Flora ist vor allem darauf zurückzuführen, daß darin eine große Zahl mitteltertiärer Pflanzen erhalten geblieben sind, die in Europa ausstarben, darunter die *Magnolien*, der *Liquidambar*, der *Sassafras*, die *Catalpa*, die *Sumpfcypresse* (*Taxodium*) u. a. Die Eiszeit richtete in Nordamerika keine so großen Verheerungen in der Pflanzenwelt an wie in Europa, weil Nordamerika infolge seiner andern Bauart, besonders infolge des Mangels ostwestlich gerichteter Gebirge, den Pflanzen den Rückzug nach Süden besser ermöglichte. Das hat ASA GRAY sehr schön und überzeugend auseinandergesetzt“ (l. c. p. 76, 77). Betrachten wir z. B. die Flora des miocänen Senftenberger Braunkohlenfeldes, von der P. MENZEL (1906) eine gute Bearbeitung geliefert hat. Auch er sagt von der Flora des Gebietes: „Feuchten Boden beanspruchen *Weiden*, *Pappeln*, *Erlen* und *Haselnuß*, und die Sumpfcypresse, *Taxodium distichum*, . . . läßt mit den ihr vergesellschafteten Arten das Bild eines Waldmoores im Senftenberger Gebiete zur Miocänzeit vor unseren Augen erscheinen, das, wie POTONIE hervorhebt, den Küstensümpfen (swamps) der atlantischen Südstaaten Nordamerikas habituell gleich war“. Die Carbonmoore sind mit den erwähnten Swamps aber nicht näher zu vergleichen, wie das seinerzeit mangels eines besseren Vergleichs aus der Gegenwart u. a. LESQUEREUX wollte; die Carbonmoore entsprechen vielmehr, wie wir sahen, abgesehen von der Verschiedenheit der Arten, unseren Tropenmooren. Da zur Tertiärzeit auf der Erde eine Sonderung in Klimazonen stark entwickelt war, wie wir aus dem gleichzeitigen Vorhandensein von tropischen, subtropischen und gemäßigten Vegetationsbeständen

erschließen, muß unser sumatranisches Tropenmoor natürlich zur Aufklärung gewisser Tertiärfloren besonders wertvoll sein. Das Studium tropischer Moore wird hier sehr fördernd wirken.

Wir bedürfen nach all dem Gesagten zur Erklärung der Carbon- und Tertiärmoore nicht der Annahme kälterer Perioden oder etwa genereller Eiszeiten. Die etwa vorhandenen Eiswirkungen u. dergl. sind wohl einfacher durch die Annahme zu verstehen, daß auch damals hohe Gebirge mit Schnee und Eis bedeckt waren und daher auch damals Gletscher lokal im Vorlande Moränen, Schiffe und Schrammen erzeugt haben. RAMANN (1896) folgert direkt aus der zeitlichen Verbreitung der Kohlen, „daß auf der Erde zwei langdauernde Perioden sinkender Temperaturen geherrscht haben, deren erste in die Carbonzeit fällt und mit der Dyas beendet wurde, und deren zweite die spätere Tertiärzeit umfaßt und, soweit erkennbar, mit der Jetztzeit abzuschließen scheint“. F. SOLGER (1905) faßt diese Ansicht in der folgenden Weise zusammen: „Jede der großen Kohlenperioden bezeichnet eine Zeit der Ausdehnung kühlerer Klimate, die Abkühlung der Erdatmosphäre. Den tiefsten Stand der Temperatur bezeichnet jedesmal eine Eiszeit, dort die carbonische, hier die diluviale, und beide Male verschwindet nach der Eiszeit allmählich die Kohlenbildung wieder als Zeichen erneuten allgemeinen Steigens der Erdoberflächen-Temperaturen. Dabei erscheint unsere heutige, relativ torfreiche Zeit als der Ausklang der Braunkohlenzeit“.

Wir brauchen aber in Wahrheit keinerlei Sonderbedingungen, denn wir haben gesehen: Die Eigentümlichkeiten der uns bekannten Pflanzen des produktiven Carbons sprechen dafür, daß sie 1. Sumpf- und Flachmoor-Pflanzen waren und 2. in einem Tropenklima lebten bzw. in einem gleichmäßig warmen Klima. Dieses Resultat ergibt sich aus dem vollen Einklang mit den Erfahrungen, die wir den heutigen Verhältnissen entnehmen können: denn auch heute gibt es unter tropischem Klima echte und große Sumpfflachmoore, deren Flora in ihrem ökologischen Charakter der Flora des produktiven Carbons entspricht. Kurz und bündig: Die fossil als Steinkohlenlager vorhandenen Carbonmoore besaßen den Charakter unserer heutigen tropischen Sumpfflachmoore. Der Unterschied zwischen den heutigen Mooren einerseits und den Braunkohlen-, den mesozoischen und carbonischen Steinkohlen-Lagern andererseits, liegt nur in der systematischen Verschiedenheit der Vegetationen. Die genannten Bildungen hatten und haben aber das Gemeinsame, aus Sumpf- und Wasserpflanzen zusammengesetzt zu werden, d. h. aus floristischen Elementen, die durch ihren Standort zu reichlichen Humusbildungen, Moorbildungen, Veranlassung geben.

Die hervorragendsten Moorbildungs-Zeiten: Carbon und Tertiär

Da auf der Erde, sobald überhaupt einmal die Bedingungen für Humusbildungen vorhanden waren, stets irgendwo Gelegenheit zu ihrer Erhaltung gegeben sein mußte, so führen alle Sedimentär-Formationen (Humus-)Kohle. Außer dem Obercarbon und dem Tertiär ist es besonders die Juraformation, die reichlicher Kohle besitzt. Daß aber die beiden erstgenannten Formationen so hervorragend viele und ausgiebige fossile Humuslager aufweisen — sie haben ja danach ihre deutschen Namen Steinkohlen- und Braunkohlen-Formation erhalten — verlangt noch eine besondere Erklärung.

Die Gebirgsbildung hat — wie wir wissen — nicht gleichmäßig stattgefunden, sondern es lassen sich Zeiten verhältnismäßiger Ruhe gegenüber Zeiten stärkerer Gebirgsbildung unterscheiden. Solche Zeiten sind nun gerade diejenigen der Carbon- und der Tertiärperiode, und hiermit hängt offenbar das reichliche Vorhandensein der fossilen Moore zusammen. Die hohen entstandenen Gebirge waren die ständigen Quellen des Wassers, das die Täler und Senkungsgebiete erfüllte, wo besonders oft die Bedingungen für die Entstehung von Mooren gegeben waren, ebenso wie am Fuße der Gebirge und vor denselben, genau so wie heute. Auch am Fuße und im Vorlande des skandinavischen Höhenzuges sind Moorbildungen bemerkenswert verbreitet, ebenso am Nordrande der Alpen.

Wo die fossilen Moore innerhalb der Gebirgsfalten entstanden sind, haben wir es mit „limnischen“ (kontinentalen) Kohlenrevieren ohne Meerestiere zu tun; wo sie jedoch vor den Gebirgen lagen, und zwar so, daß der Meeresstrand nicht gar zu weit war, sind die Reviere „paralische“ (Küstenland-Bildungen oder doch meeresnahe Reviere) mit Meerestieren. Die Reviere von Niederschlesien, Zwickau, an der Saar, in Zentral-Frankreich z. B. sind limnische, die — wenn Tiere gefunden werden — nur Land- oder Süßwassertiere bergen; die Reviere von Oberschlesien, an der Ruhr, in Belgien, England und Schottland, auch des appalachischen Gebietes usw. hingegen sind paralische, wie sich aus dem Vorhandensein von Meerestieren ergibt und von solchen, die brackische Gewässer belebten. — Die Steinkohlen-führenden Carbon-Horizonte scheiden sich danach in eine kontinentale und eine Meeresstrand-Facies.

Auch die heutigen Moorablagerungen können wir natürlich in gleicher Weise scheiden, denn gerade sie geben uns ja Aufschluß über die gleichen Erscheinungen in früheren geologischen Formationen. Wo Torflager durch Unterspülung, Zusammensinken der Schichten oder geringe Senkungsvorgänge tektonischer Art nur so gelinde unter den Wasserspiegel des Meeres geraten, daß sie noch deutlich sichtbar



Fig. 71. „Submarines“ Torflager der Nordsee: Strand von Sylt. (Nach J. REINKE.)



Fig. 72. „Submarines“ Torflager der Ostsee: Strand von Mecklenburg. (Nach E. GEINITZ.)

bleiben, sind sie zur Veranschaulichung des Gesagten besonders geeignet (Fig. 71 u. 72).

Wo rezente Moore unter den Meeresspiegel geraten oder geraten waren, haben wir genau, wie gelegentlich bei der Meeresstrand-Facies des produktiven Carbons, autochthone Torflager getrennt oder überdeckt von Meeressedimenten. Als Beispiele mögen folgende Profile dienen:

Im Nordosten der Bucht von Morlaix (Finistère) findet sich (L. CAYEUX 1907)

Mariner Sand

Flachmoortorf mit *Arundo phragmites*.

Mariner Sand

Flachmoortorf mit *Arundo phragmites*.

Weiter östlich bei Watten (Pas-de-Calais) in der flachen „maritimen Ebene“ ist 3 m über dem Meeresspiegel (also nachträglich wieder gehoben) das Profil zu beobachten (GOSSELET u. LADRIÈRE 1893, s. auch den Exkursionsbericht von F. WAHNSCHAFFE 1893 p. 176)

| | | |
|------------------|---|-------------------------------------|
| Marine Sedimente | { | Sand mit <i>Cardium edule</i> , 1 m |
| | | Ton „ <i>Hydrobia ulvae</i> , 1 m |

Torf

Mariner Sand mit *Cardium edule*.

Noch weiter östlich, im Mündungsgebiet der Schelde, haben wir:

Zu oberst jüngstes Sediment mit marinen Tierresten

1—1,50 m Torf

1—4 m Sand und Ton mit marinen Tierresten.

usw.

Außer Meerestieren in Sedimenten zwischen Kohlenlagern spricht für die Nähe des Meeres auch eine Beobachtung, die CH. BARROIS (1908) gemacht hat, nämlich das Vorhandensein einer Breccie mit kantigen (also nicht abgerollten) Gesteinsstücken im Nord-Kohlenrevier Frankreichs. Das deutet bekanntlich auf die Herkunft der Stücke von einem anstehenden Gestein aus nächster Nähe hin, und der genannte Autor gibt als heutigen Fundort eckiger Gesteinsstücke eine ruhigere Felsensteilküste am Meere an der Mündung des Tréguier an.

Die am Ende des Culms besonders stark einsetzende und sich dann langsamer fortsetzende Gebirgsbildung schuf Grabensenkungen, die Meereseinbrüche und für Moore günstige Strandzonen bedingte, sowie

mächtige Täler für kontinentale Moore. Wenn z. B. devonische Schichten, wie im Saar-Revier, so viele Sedimente für das produktive Carbon hergegeben haben, so mußten diese Schichten vorher stark emporgebracht worden sein.

Wo Landsenkungen stattfanden, die mit Perioden der Gebirgsbildung in großem Maßstabe verknüpft sind, war die Moorbildung ganz besonders begünstigt. Wir haben gesehen, daß Küstenländer für Moorbildungen oft treffliche Bedingungen liefern (Marsch- und Delta-Moore); befindet sich ein Küstenstrich in Senkung, so können gewaltige Länderstrecken nach und nach von der Moorbildung ergriffen werden und so fossile Humusablagerungen schaffen, die eine gewaltige horizontale Ausdehnung besitzen. Sehr mächtige Flachmoore können nur in Senkungsgebieten entstehen: dort braucht die Mächtigkeit eines Moores nur eine Grenze zu finden, nämlich in dem Aufhören des Senkungsvorganges. Vollzieht sich die Senkung in gleichem Schritt mit der Wachstumszunahme, so werden keine sedimentären Mittel eingeschaltet; geht sie langsamer, so nimmt das Moor an Mächtigkeit nur langsam zu, bezw. erhöht sich als Zwischen- und sodann als Hochmoor über den Grundwasserspiegel; geht die Senkung schneller vor sich, so werden Ton- und Sandlager eingeschaltet, oder es treten lange Zeiten allochthoner Sedimentierung ein, die bei günstigeren Bedingungen wieder von Moorbildungen abgelöst werden können, und so fort. Wir erhalten dann ein Profil mit vielen Kohlenlagern in mächtigen Ton-, Sand- und Konglomerat-Schichten wie im produktiven Carbon.

Bei diesem steten Kampf von Land und Wasser — und zwar je nachdem Süß- oder Salzwasser — der sich abgespielt hat, ist es begreiflich, wenn einmal in den Zwischenmitteln Meerestiere vorkommen, ein andermal Tiere brackischer Gewässer und endlich wieder an anderen Stellen Tierreste süßer Gewässer, oder es finden sich Wassertiere überhaupt nicht. So haben wir im Ruhrrevier über mehreren Kohlenlagern (u. a. Finefrau und Katharina) marine, in anderen Horizonten Brack- und Süßwassertiere.

Nach dieser Darlegung ist ein Einwand nicht stichhaltig, der die Steinkohlen- oder Braunkohlenlager deshalb nicht mit unseren Torfmooren für vergleichbar hält, weil Torfmoore nicht vorhanden seien, die nach ihrer Volumen-Reduktion auch nur annähernd die Stärke der mächtigeren Stein- und Braunkohlenlager erreichen würden. Der Grund, warum wir heute keine wie verlangt hinreichend mächtigen Torfmoore besitzen (oder nicht kennen), liegt in der Tatsache, daß die Periode, in der wir uns gegenwärtig befinden, keine Periode besonderer Erdkrusten-Bewegungen ist, wie es die Carbon- und Tertiärzeiten gewesen sind.

So erklärt sich denn ein Kohlenlager von fast 100 m Mächtigkeit, wie wir ein solches in dem NW. von Cöln abgebauten Braunkohlenlager

her kennen, in der ungezwungensten Weise, trotzdem wir aus der heutigen Zeit keine Vergleiche zur Verfügung haben, die uns das Entstehen so gewaltiger Mächtigkeiten veranschaulichen, weil wir eben solche hervorragenden Senkungsgebiete mit Moorbildungen wie damals heute, wie es scheint, nicht besitzen.

Die Beantwortung der Frage, woher denn die Wurzeln ihre notwendige reichliche anorganische Nahrung bezogen haben, macht keine Schwierigkeit, wenn wir uns des p. 36—38 über unsere heutigen Sumpfflachmoore Gesagten erinnern. Die steten Überschwemmungswässer bringen genügende gelöste anorganisch-mineralische Nahrung ins Innere des Moores, während die schwebend mitgeführte Trübe am Rande, namentlich wenn hier eine Röhrichtzone vorhanden ist, herausgefiltert wird.

In kurz zusammenfassender Wiederholung wäre zu sagen: Die besonders reichliche Moorbildung zu den Zeiten des Carbons und des Tertiärs erklärt sich in erster Linie aus der Tatsache, daß diese Formationen die Zeiten hervorragender Gebirgsbildung gewesen sind, wodurch Täler geschaffen wurden und große Senkungsgebiete, insbesondere durch Meeresküsten angezeigt, die für Moorbildungen so günstige Örtlichkeiten sind. Bei einer ständigen und fast stetigen Landsenkung mußten an vielen Stellen große Moore entstehen, die, oft von allochthonen Sedimenten bedeckt, so durch Gesteinszwischenmittel getrennt wurden.

Es braucht wohl kaum hinzugefügt zu werden, daß tiefer gelegene Landgebiete, die durch Erosion oder sonstwie entstanden sind, das heißt Strecken, die ringsum mehr oder minder durch Erhöhungen abgeschlossen sind, mögen diese geologisch zustande gekommen sein wie sie wollen, für die Bildung von Mooren — falls dauernd stehendes Wasser vorhanden war oder ist — genau so günstige Örtlichkeiten waren und sind wie durch Gebirgsbildung entstandene Täler oder damit in Zusammenhang stehende Landsenkungen.

Geologischer Florenwechsel

Die Gleichmäßigkeit der mehrere Kilometer mächtigen Schichten des produktiven Carbons in ihrem Wechsel wesentlich von Tonschiefern, Sandsteinen, auch gelegentlich Konglomeraten und die innerhalb dieser ganzen Formation stattfindende häufige Unterbrechung dieser Sedimentärschichten durch fossile Torflager (Kohlenlager) deutet auf eine im ganzen gleichmäßige Senkung derjenigen großen Geländestrecken hin, die diese Lager in mächtigerer Ausbildung enthalten. Im allgemeinen

hat eine langsame Sedimentation stattgefunden; gelegentlich muß allerdings die Anhöhung des Bodens durch Sedimentation von Sand oder Ton schneller erfolgt sein, ganz wie das auch heute unter Umständen stellenweise bei Überschwemmungen u. dergl. vorkommt. Denn die gelegentlich auftretenden, ziemlich langen aufrechten Baumstämme in Sandsteinen oder Tonschiefern würden nicht in der vorhandenen Länge zur Fossilisation haben gelangen können, wenn sie nicht relativ schnell eingebettet worden wären. Da aber solche Vorkommnisse doch nur untergeordnet beobachtet werden, so müssen im ganzen sehr gewaltige Zeiträume verfließen sein, um die Ablagerung des gesamten produktiven Carbons zustande zu bringen; denn mit unserem der menschlichen Staatengeschichte entnommenen zeitlichen Maß, das mehrere 1000 Jahre umfassend noch nicht einmal als Einheit hinreicht, um wesentliche Veränderungen in der Weiterentwicklung der Organismenwelt wahrzunehmen, müßten wir sehr sehr viele solche Maße haben, wenn wir der Tatsache Rechnung tragen wollen, daß innerhalb des produktiven Carbons bemerkenswerte phylogenetische Wandlungen stattgefunden haben. Versuchen wir, um uns das Gesagte näher zu rücken, die Florenfolgen in einem Teil des produktiven Carbons kurz zu streifen.

Am lehrreichsten und schnellsten kann man diese in einem genügend langen Bohrkern verfolgen, d. h. einem mit dem technisch hoch entwickelten Diamant-Bohrverfahren herausgeholtten zylinderförmigen, langen Gesteinsstück, das Proben der durchteuften Horizonte bequem zur Verfügung stellt. Das tiefste heute niedergebrachte Bohrloch im produktiven Carbon von Czuchow in Oberschlesien hat eine Länge von über $2\frac{1}{4}$ km!

In einem durch eine solche Bohrung zutage gebrachten Profil kann nun im produktiven Carbon alle paar Meter, z. B. durchschnittlich alle 10 m, ein Kohlenlager von verschiedener Mächtigkeit auftreten, ohne daß dabei irgend eine Beeinflussung der Gesamtflora zu bemerken wäre, nur daß autochthone *Stigmarien* unter den Lagern in Menge vorzukommen pflegen.

Bohrkerne aus Partien des Carbons, die reich an Steinkohlenlagern sind, pflegen in den Schiefertönen eine Unzahl von fossilen Pflanzenresten zu bergen. Eine zunächst verwirrende Fülle derselben — Steinkerne, Rinden, Abdrücke der Oberflächen von Stämmen, Stamm-, Wedelstielstücke, Blatt- und Blütenreste, Samen usw., wie man bald sieht, den verschiedensten Arten angehörig — tritt dem Untersucher entgegen. Für den Palaeontologen, der feststellen möchte, in welchen Abschnitten der innerhalb des produktiven Carbons zur Ablagerung gelangten mehreren 1000 m Gesteinsschichten die Bohrung steht, gilt es nun zu sehen, ob und welche von den Fossilien für bestimmte Altershorizonte charakteristisch sind. Unter dem ewigen Einerlei derselben

Pflanzenreste heben sich nun in der Tat in den verschiedenen Horizonten einzelne Formen heraus, die ein beschränkteres Vorkommen haben: sie sind „Leitformen“.

Aber nicht nur das Vorkommen bestimmter Reste und Typen an sich ist zu verfolgen, sondern auch ihre relative Häufigkeit, ihr Auftreten und Wiederverschwinden. Es gehen nämlich Fossilien, die, sagen wir, für den Horizont b besonders leitend sind, auch in einzelnen Exemplaren in den Horizont c hinüber und sie kommen auch vorher schon in dem Horizont a, ihre reichliche Entwicklung in b vorbereitend, vor.

Einzelne aus einem Bohrkerne herausgeschlagene Stücke können daher als Grundlage für eine Horizontierung von vornherein keine Sicherheit bieten: der ganze Kern muß, soweit er Petrefakten birgt, klein geschlagen werden, um ein möglichst genaues Bild von dem Auftreten, gänzlichen oder mehr oder minder langsamen Verschwinden der Arten zu erhalten.

Die Tatsache, die wir aus dem Carbon lernen, daß also viele Arten langsam verschwinden, um schließlich vor dem vollständigen Aussterben nur noch an wenigen Örtlichkeiten ein letztes Dasein zu fristen, entspricht durchaus dem Verhältnis, wie wir es auch noch bis in die Gegenwart hinein verfolgen können. In dieser Beziehung seien als Beispiel die *Matonia*-Typen der Kreideformation genannt, unter denen Reste vorhanden sind, die sich überhaupt nicht von der rezenten *Matonia pectinata* unterscheiden. Diese Spezies ist heute nur noch aus der Umgegend von Singapore bekannt und zwar tritt sie hier zusammen mit *Dipteris* auf, einer Gattung, die heute ebenfalls selten, wenn auch nicht auf nur einen Fundort beschränkt ist, wie *Matonia*. Dieses Zusammenleben ist deshalb hervorzuheben, weil *Dipteris* auch schon im Mesozoikum zu derselben Pflanzengemeinschaft wie *Matonia* gehörte.

Es ist nun besonders hervorzuheben, daß es immer nur einzelne Arten sind, die neu auftreten, resp. verschwinden, so daß die Gesamtphysiognomik der unmittelbar nacheinander auftretenden Floren dieselbe bleibt und Florenunterschiede um so auffälliger wirken, je mittelbarer sie miteinander verknüpft sind. Demnach ist es nicht so, daß die eine Flora zusammensetzenden Arten scharf mit einer bestimmten Schicht abschneiden und nun plötzlich neue auftreten, vielmehr gehen — sofern auch die die Arten bergenden Schichten der Zeit entsprechend vergleichsweise gleichmäßig zur Ablagerung gelangt sind — die Floren ganz allmählich ineinander über, und zwar so, daß die eine Art gewöhnlich langsam seltener wird und allmählich ganz verschwindet, und irgendwo eine neue einsetzt, allmählich immer häufiger wird, um dann ebenfalls zu verschwinden. Arten, die nur in ganz bestimmten Horizonten sporadisch auftreten, sind selten.

Bei dieser Sachlage ist es freilich schwierig, die Schichten nach „Floren“ zu unterabteilen. Man wird gut tun, eine sehr charakteristische Art, wie z. B. *Sphenophyllum myriophyllum* in ihrem Zusammenauftreten mit mehreren anderen solchen Arten zugrunde zu legen, wird sich aber auch mit einer einzigen Art begnügen, wenn ihr Auftreten eben für den Beginn eines größeren Schichtenkomplexes ein Merkmal abgibt. Bei der sehr allmählichen Wandlung der Gesamtfloren könnte man das gesamte Palaeozoicum als nur eine einzige Flora enthaltend ansehen, weil zwar ein Vergleich zeitlich sehr auseinander liegender Horizonte auch sehr voneinander abweichende Pflanzentypen aufweist, die sie trennenden Horizonte jedoch diese beiden Floren so miteinander verknüpfen, daß nirgends eine scharfe Grenze zu bemerken ist.

Bei der Horizontierung ist durchaus nicht zu erwarten, in einem bestimmten Horizont in einem Bohrkern — auch wenn sonst viele Reste vorhanden sind — nun auch unter allen Umständen das oder die dem Horizont eigentümlichsten Leitfossilien zu finden. Vielmehr ist zu beachten, daß, wie heute auf der ganzen Erde, so auch zur Steinkohlenzeit die Vegetation in bestimmten Pflanzengemeinschaften (Vegetationsvereinen) auftrat. Wie wir heute die nordwestdeutschen Heiden von den Wiesen und Wäldern, oder ins kleinere gehend, die *Equisetum*-Bedeckungen an überschwemmten Stellen von den *Cladonia*-Feldern usw. unterscheiden, oder wie man selbst innerhalb solcher gleichförmigen Gelände, wie es insbesondere die einzelnen Moortypen sind, an Stellen, wo es nasser ist, z. B. Röhrichte, an anderen Stellen wieder Moorwald usw. beobachtet, so kann man auch zur Steinkohlenzeit je nach der ursprünglichen Bodenbeschaffenheit und den sonstigen Verhältnissen beobachten (vergl. unser Titelbild Fig. 1), daß an einer Stelle *Calamariaceen* besonders reichlich vertreten waren und nicht weit davon, in absolut einem und demselben Horizont, *Farn* und an noch anderen Stellen hinwiederum *Lepidophyten* oder *Sphenophyllaceen*. Da ist es denn erklärlich, daß allerdings ein bestimmtes Kohlenlager an der einen Stelle eine ausgesprochen von einer anderen Stelle desselben Lagers verschiedene Pflanzengemeinschaft aufweisen kann.

Es ist deshalb nicht möglich, einzelne Kohlenlager auf Grund der Pflanzenreste zu identifizieren: nur ganze Schichtenkomplexe lassen sich floristisch parallelisieren und zwar im produktiven Carbon speziell des Saarrevieres bequem 3—4 (nimmt man das Rotliegende dazu 4—5) solcher Komplexe. Die zweckmäßig festzusetzenden floristischen Grenzen liegen zuweilen nicht dort, wo der Bergmann eine Scheidung vornimmt, wenn es auch meistens der Fall ist. Denn für diesen liegt der Beweggrund, die gesamten kohleführenden Schichten eines Reviers zu unterabteilen, wie im Ruhr- und im Saarrevier u. a. in der Wertigkeit der Kohlenlager der einzelnen Horizonte für die

Praxis. Das hat aber mit den Floren, die die jetzt fossilen Moore zu der Zeit trugen, als sie noch am Leben waren, nichts zu tun (vergl. p. 102—105).

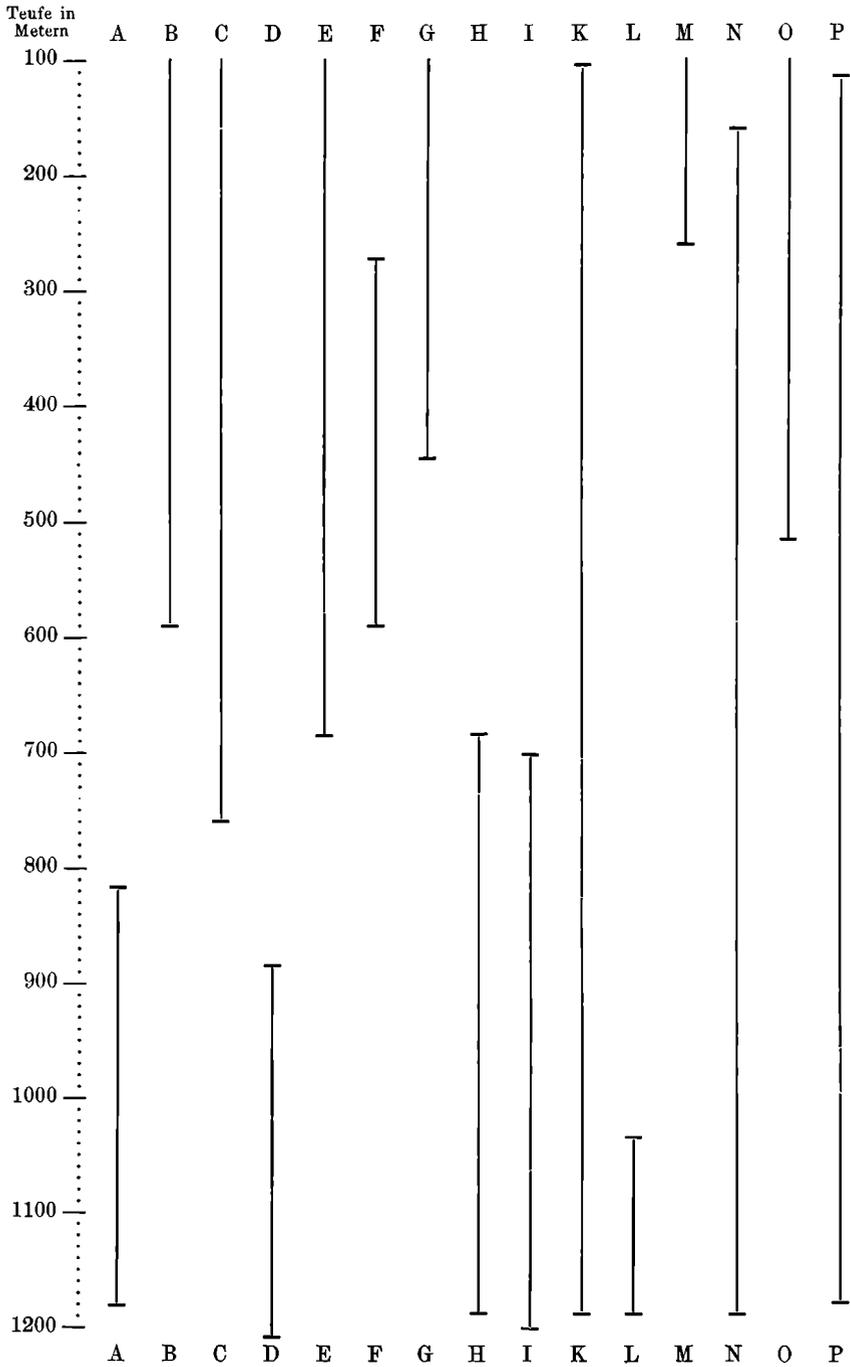
Nimmt man die Funde in einem Bohrkern nach den im Vorausgehenden angegebenen Prinzipien auf, so erhält man ein Bild, das nun möglich macht, die floristisch übereinstimmenden Horizonte mehrerer in gleicher Weise untersuchter Bohrungen direkt miteinander zu vergleichen und Winke über das Vorhandensein von Schichtenverjüngungen oder Mächtigkeitszunahmen in einem Kohlenrevier zu geben.

Wenn wir nun die Pflanzen eines Bohrkernes z. B. in den Saarbrücker Schichten des Saarreviers durchsehen, so haben wir außer den durch die ganze Bohrung, soweit es sich um Schichten des produktiven Carbons handelt, durchgehenden Arten (wie z. B. *Sphenophyllum cuneifolium* und *Calamites Suckowi*) und außer den nur vereinzelt auftretenden Resten eine Reihe von solchen, die bestimmte Strecken im Bohrkern ausschließlich oder hervorragend auszeichnen, so in unserem Fall u. a.

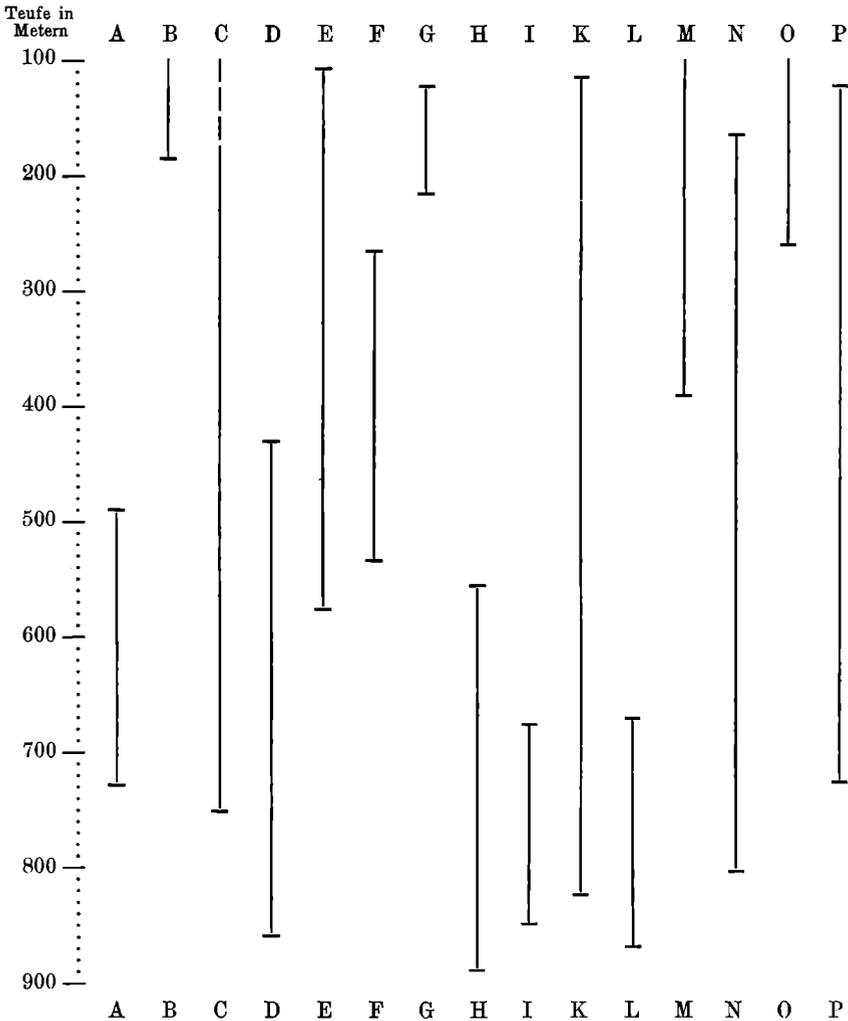
in den unteren Teufen *Sphenophyllum myriophyllum*,
 später einsetzend *Sphenopteris Sauvouri*,
 noch später einsetzend und höher
 hinaufgehend *Palaeoweichselia Defrancei*,
 und weiter oben *Neuropteris ovata* bis *Scheuchzeri*,
 und wieder später einsetzend ge-
 wisse *Pecopteriden*, *Annularia stellata*,
 usw.

Wenn wir nun mit bereits gesammelten Erfahrungen an die Beurteilung dieser Tatsachen für eine Horizontierung im Kern herantreten, so ist auf Grund der im Kern gefundenen Reste der Horizont festzustellen, weil die Reste in derselben Folge in den schon bekannten Aufschlüssen auftreten.

In den beiden in den Profilen p. 196 und 197 als Beispiele herangezogenen Bohrungen, die ich in der angedeuteten Weise untersucht habe, wurden von den vielen beobachteten Pflanzenarten je 15 charakteristische (als A bis P bezeichnet) herausgesucht und zwar in beiden Fällen dieselben Arten, damit eine Parallelisierung der Schichten mit gleichen Arten möglich sei. Die senkrechten Striche geben das Vorkommen der einzelnen Arten in den links zahlenmäßig in Metern angegebenen Tiefen an. Es bedeutet also, daß die Art A in der einen Bohrung (Wiebelskirchen) von 491—729 m vorkommt, in der anderen (Alsbachtal) von 817—1186 m usw. Die als Beispiel herangezogenen



Bohrung Alsbachtal (Erklärung in dem folgenden Schema und im Text).



Bohrung Wiebelskirchen. Die Zahlen links sind die Teufen in Metern.
Die Linien geben das Auftreten der einzelnen Arten (A—P) in dem Bohrkern an.
(Sonst Erklärung im Text.)

Arten sind *Sphenopteris Sauveuri* (A), *Pecopteris hemitelioides* und die mit diesem Typus nächst verwandten *Pecopteris*-Arten (B), *Desmopteris unita* (C), *Pecopteris pennaeformis* (D), *Alethopteris Davreuxi* (E), *Palaeoweichselia Defrancei* (F), *Neuropteris ovata* bis *Scheuchzeri* (G), *Neuropteris gigantea* (H), *Neuropteris tenuifolia* (J), *Linopteris neuropteroides* (K), *Sphenophyllum myriophyllum* (L), *Annularia stellata* (M), *Annularia pseudostellata* (N), *Annularia sphenophylloides* (O), *Cingularia typica* (P).

Wir sehen nun in beiden Fällen — die Bohrung Wiebelskirchen befindet sich im Osten, die Bohrung Alsbachtal im Westen des Saarrevieres — eine ganz übereinstimmende Verteilung der Arten, d. h. daß die Arten, die in der einen Bohrung nur unten vorkommen, auch in der anderen Bohrung die älteren sind, und ebenso ist es mit den in den mittleren und oberen Partien auftretenden Arten. *Sphenophyllum myriophyllum* (L) z. B. ist eine Art der tieferen, *Palaeoweichselia Defrancei* (F) der mittleren und *Annularia stellata* (M) eine Art der oberen, von den Bohrungen durchteuften Schichten usw. Diese kann man danach in drei zeitlich aufeinander folgende Floren unterscheiden. Ein Vergleich der Länge der Linien gleicher Arten in den beiden Bohrungen gibt darüber Auskunft, daß gegenüber der Bohrung Alsbachtal in den von der Bohrung Wiebelskirchen durchteuften Schichten eine Schichtenverjüngung (nach Osten hin also) stattgefunden hat.

Lassen sich nun auch, wie schon angedeutet, in gleicher Weise palaeobotanisch untersuchte Bohrkerne eines und desselben Carbonreviers ohne weiteres miteinander vergleichen, gewissermaßen wie verschiedene Maßstäbe aneinanderlegen und die durchteuften Schichten auf Grund floristischer Ähnlichkeiten miteinander parallelisieren, so ist eine in Beziehungsetzung der engeren Horizonte in Bohrkernen aus verschiedenen Revieren, z. B. des Saarreviers einerseits und Oberschlesiens andererseits, nicht ohne weiteres zulässig. Es läßt sich in diesem Falle nicht in gleicher Weise parallelisieren. Denn es stellt sich nach eingehenderer Untersuchung immer mehr heraus, daß wesentliche lokale Färbungen in den Floren verschiedener Reviere zur Geltung kommen. So sind *Palaeoweichselia Defrancei*, eine wichtige und häufige Form der Flammkohlenpartie des Saarreviers, ferner *Cingularia typica*, wo anders überhaupt noch nicht gefunden worden. *Sphenophyllum myriophyllum* der Fettkohlen dieses Reviers kommt wohl in Frankreich (im Revier von Valenciennes) häufig vor, ist aber in den anderen Revieren Deutschlands bis jetzt nur hier und da untergeordnet beobachtet worden usw. Ferner ist zu berücksichtigen, daß in gewissen Revieren einzelne Arten weiter hinauf gehen resp. eher einsetzen als in anderen, wie z. B. *Subsigillaria Brardi*, die im Saarrevier nur im oberen produktiven Carbon (in den Ottweiler Schichten) und im Rotliegenden vorkommt, in England aber schon im mittleren produktiven Carbon beobachtet wird. Wir haben es demnach bereits im produktiven Carbon mit Lokalfärbungen bei gleichzeitigen Floren zu tun (Näheres über den p. 191—198 behandelten Gegenstand bei POTONTÉ 1902).

Fossile Liptobiolithe

Die Pflanzenwelt hat sich im Verlaufe der geologischen Formationen von einfacheren zu verwickelteren Bauverhältnissen umgestaltet. Manche Eigentümlichkeiten, die wir an heutigen Pflanzen sehen, und die ihnen nützlich sind, fehlten noch den Gewächsen des produktiven Carbons. Hier ist besonders ein interessanter Unterschied hervorzuheben zwischen der Vegetation des produktiven Carbons einerseits und der Tertiärformation andererseits, nämlich der, daß viele Pflanzen der Tertiärformation harzausscheidende Organe besaßen, die den Pflanzen der Steinkohlenformation noch gänzlich fehlten oder die dort jedenfalls ganz wesentlich zurücktraten. Auch Wachs- und Wachsharzausscheidungen, wie sie viele heutige Pflanzen besitzen, dürften, nach dem Urteil, das uns Schliffe durch Holzteile usw. gestatten, im Palaeozoikum noch kaum, jedenfalls aber nicht ausgiebig, vorhanden gewesen sein; die Tertiärfloren hingegen gleichen den heutigen Floren in dieser Beziehung durchaus. Mit Sicherheit sind Harzgänge-führende Hölzer erst seit dem Jura bekannt. So kommt es denn, daß in denjenigen Ablagerungen, die den größten Vorrat an Kohlen bergen, also im produktiven Carbon, Lager von Liptobiolithen fehlen.

Die Harze sind für die Pflanzen Mittel zum Wundverschluß. Wo durch Windbruch, Tierfraß usw. eine Wunde entsteht, die den Atmosphärrilien zugänglich ist und der Pflanze leicht Verderben bringt, wird sie von den harzabsondernden Pflanzen luftdicht abgeschlossen, so daß Nässe, Feuchtigkeit und sonstige störende Umgebungsbedingungen in ihren schädlichen Wirkungen beseitigt werden. In der Tat werden z. B. die zum Zwecke der Harzgewinnung angeschnittenen Stämme von Harz überrieselt und die Heilung der Wunden ist regelmäßig die Folge. Die Behälter, die das Harz enthalten, finden sich besonders in der Rinde der Stämme und Zweige, also in den am leichtesten Beschädigungen ausgesetzten Teilen; sie sind aber auch im Holze reichlich vorhanden: es sind Kanäle oder anders gestaltete Räume, wie bei der Fichte, der Kiefer und auch den Bernsteinbäumen, von denen noch eingehender die Rede sein muß, die alle außer Harzkanälen sogenannte Harzdrusen oder Harzgallen aufweisen. Überraschend stark verharzte Hölzer („bituminöse Hölzer“ im engsten eigentlichen Sinne), so reich und homogen von Harz durchtränkt, daß sie fast wie Siegellack brennen, sind zuweilen in der Braunkohle zu finden. Es ist eine bekannte Erscheinung, daß nach dem Fällen oder Abbrechen von Baumstämmen die in der Erde zurückbleibenden Stümpfe harzführender Bäume leicht verkieien,

also besonders zur Harzproduktion geneigt sind, da, wie gesagt, der Harzfluß in physiologischer Hinsicht ein Wundverschluß ist. Die Entstehung und Herkunft stark harzhaltiger Kohle und ihre Lagerstätte in den Höhlungen so vieler der fossilen mächtigen, noch aufrechten Stümpfe unter, in und auf dem Senftenberger Braunkohlenlager erklärt sich daher ebenfalls aus Harzfluß, der in die als Wunde anzusehende Stammhöhlung hinein besonders reichlich stattgefunden haben muß, vielleicht besonders nach dem Abbrechen der Stämme, die ja zunächst oft noch lebensfähig gewesen sein werden, jedenfalls aber im Absterben besonders viel Harz erzeugt haben.

Die Genesis von Liptobiolithlagern scheint gern bodenfremd zu sein (vergl. vorn p. 47), d. h. ihre Vorkommen befinden sich nicht dort, wo die pflanzlichen Urmaterialien entstanden sind, wo die Pflanzen lebten, sondern es hat ein Transport der Pflanzen oder Pflanzenteile und eine Ablagerung auf fremdem Boden stattgefunden. In dieser Beziehung besteht ein Gegensatz zu den Humusgesteinen, bei denen die Moore bodeneigen, an Ort und Stelle entstanden sind, wo auch die Pflanzen lebten. Die Sachlage ist die: Wo liptobiolith-haltiges Pflanzenmaterial transportiert wird, das unter bodeneigenen Verhältnissen Humus bilden würde, erhalten wir gern Liptobiolith-Ablagerungen, bezw. eingebettete Liptobiolith-Stücke. Denn bei einem Transport wird die Zersetzung organischer Substanzen naturgemäß stark unterstützt und beschleunigt, weil bei der stetigen Bewegung des Wassers und der transportierten Teile mit ihnen ständig der die Zersetzung befördernde Sauerstoff in Berührung kommt. Gerade hierbei wird also das liptobiolithische Material schnell angereichert und muß schließlich allein zurückbleiben. Harzstücke, die das Driftgut enthält, können einzeln zur Einbettung gelangen, wie an dem Vorkommen des Bernsteins und an anderen Vorkommnissen fossiler Harze zu sehen ist.

Der Bernstein (vom altdutschen bōrnen = brennen, daher früher Börnstein [jetzt müßte es daher Brennstein heißen]; griechisch Elektron, von welchem Wort bekanntlich „Elektrizität“ abgeleitet wird, weil der Bernstein durch Reibung leicht negativ-elektrisch wird; der wissenschaftlich-internationale Name für den echten Bernstein ist Succinit) ist das damals von jetzt ausgestorbenen Nadelhölzern reichlich ausgeschwitzte, erhärtete Harz. Das Vorkommen des baltischen Bernsteins — es gibt auch in anderen Ländern Bernstein bezw. sehr bernstein-ähnliche fossile Harze — erstreckt sich über ganz Norddeutschland, Polen, die russischen Ostseeprovinzen und Finnland, anderseits über Holland, England, Dänemark und Schweden; am häufigsten findet er sich im Samland in Ostpreußen. Schon seit dem Altertum und noch früher fließt hier die Quelle; besonders die Phönizier zu Schiffe und andere Kaufleute zu Lande haben von hier durch Zwischenhandel den Bernstein den Römern

zugeführt. „Der Bernsteinhandel“ — sagt ALEXANDER VON HUMBOLDT — „bietet uns in seiner ehemaligen Ausdehnung für die Geschichte der Weltanschauung ein merkwürdiges Beispiel von dem Einflusse dar, den die Liebe zu einem einzigen fernen Erzeugnisse auf die Eröffnung eines inneren Völkerverkehrs und auf die Kenntnis großer Länderstrecken haben kann. Derselbe setzte zuerst die Küsten des nördlichen Ozeans in Verbindung mit dem Adriatischen Meerbusen und dem Pontus.“ Der Bernstein scheint in der Tat die Ursache des Beginnes der wissenschaftlich geographischen Kenntnis unseres Nordens. Deshalb und weil es überhaupt ein allbekanntes Mineral ist, ist es geboten, hier etwas Näheres über ihn zu sagen.

Schon ARISTOTELES schloß aus den im Bernstein vorkommenden Insekten, daß dieser Stoff, ähnlich dem Myrrha, flüssig den Bäumen entquollen sei. Auch CORNELIUS TACITUS meint, man erkenne den Bernstein als ein Baumharz, denn man sehe oft kriechende und selbst fliegende Insekten durchschimmern, die, von der flüssigen Masse erfaßt, nachmals bei der Verhärtung eingeschlossen wurden. TACITUS fährt fort: „Ich denke mir, daß, wie in den fernen Gegenden des Morgenlandes, wo Weihrauch und Balsam ausschwitzt, es so auch auf den Inseln und Küsten des Abendlandes fruchtbare Wälder und Haine gibt, wo Baumharz, durch die Strahlen der nahen Sonne ausgezogen und flüssig gemacht, ins nächste Meer hinabrinnt und durch Sturmgewalt ans gegenüberliegende Ufer geschwemmt wird“.

Die „Blaue Erde“ des Samlandes, in der sich der Bernstein, ferner Holzstücke, zusammen mit Resten von Meerestieren, wie Muscheln, Haifischzähnen usw. eingelagert findet, ist ihrer zeitlichen Entstehung nach natürlich jünger als der Bernstein. Die Nadelbäume, die den Bernstein als Harz absonderten, der Bernsteinwald, stand auf Trümmern der Kreideformation; er selbst gehört der älteren Tertiärformation an. Meerwasser hat den Bernstein mit den begleitenden Resten und der Blauen Erde zusammengeschwemmt: er befindet sich somit im Samlande an zweiter Lagerstätte. Wird er in noch jüngeren, wie z. B. häufig genug in Diluvialschichten oder gar im Alluvium angetroffen, so befindet er sich demnach hier an dritter oder so und so vieler Lagerstätte. Meist liegt die Bernstein führende Schicht unter dem Meeresspiegel, und zwar vielfach unmittelbar am Meere und auch den Seegrund bildend. Das Wasser zerstört die Schicht unablässig, nimmt den Bernstein auf und wirft ihn, da sein spezifisches Gewicht dem des Ostseewassers ungefähr gleichkommt, oftmals an den Strand. Auch diluviale Gletscher haben an der Zerstörung der Bernsteinschichten, die eine ausgedehnte westliche Verbreitung gehabt haben müssen, wesentlich Anteil genommen, und so ist der Bernstein als „Geschiebe“ in unser Diluvium bis an den Fuß des Riesengebirges, u. a. auch von Berlin, sowie in dasjenige der

dänischen Inseln und Schwedens hineingelangt. Aber die Wiederzerstörung der Ablagerungen der Blauen Erde hat schon früher, zur Tertiärzeit selbst, begonnen, und es findet sich daher auch Bernstein in den Schichten unmittelbar über der Blauen Erde.

Zu den Bernsteinbäumen rechnet H. CONWENTZ (1890) nach Blatt- und Blütenresten vier Kiefernarten, von denen aber keine einzige unserer Föhre oder gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*) nahesteht, ferner eine Fichtenart, die der *Picea ajanensis* vom Amur und von der Insel Jezo ähnlich sieht. Außerdem gediehen immergrüne *Eichen* und *Buchen* zusammen mit *Palmen* und lorbeerartigen Gewächsen, mit *Magnolien*. Es ist wahrscheinlich, daß alle diese verschiedenartigen Bäume und Sträucher nach verschiedenen Regionen gesondert waren und sich nicht zu einem gemischten Walde zusammenschlossen. So bildeten die eigentlichen Bernsteinbäume für sich einen geschlossenen Bestand, der nur hier und da von anderen Baumarten unterbrochen wurde. Die Kiefern nahmen hierin eine durchaus vorherrschende Stellung ein. Vergessen wir nicht, daß es sich um Urwälder handelt und nicht um wohlgepflegte Forsten, wie wir sie zu sehen gewöhnt sind. Um demnach einen Vergleich mit heutigen Verhältnissen zu haben, müssen wir den Urwald durchstreifen. CONWENTZ hat das getan und namentlich im Böhmerwald Studien angestellt; er zieht aus diesen den Schluß, daß es im ganzen Bernsteinwald kaum einen gesunden Baum gegeben haben kann: das Krankhafte war die Regel, das Normale die Ausnahme! Nicht allein durch Wind und Wetter, sondern auch durch pflanzliche Parasiten und Fäulnis, sowie durch Insekten und andere Tiere vollzogen sich an ihnen unausgesetzt Beschädigungen, die zu Harzfluß und zu anderen Krankheitserscheinungen Anlaß boten. Es lag in der Natur der Dinge, daß die aus Anflug hervorgegangenen und gedrängt aufgewachsenen Bäume ihre unteren Äste verloren, sobald diese bei mangelnder Beleuchtung nicht mehr genügend ernährt werden konnten. Bei der geringsten Erschütterung durch Wind oder Regen, durch Tiere oder andere Agentien brachen sie ab und hinterließen eine offene Wunde, die in der Folge durch Harz und bei fortschreitendem Wachstum des Stammes durch Überwallung vernarben konnte. Obschon auf diese Weise den Bäumen kein erheblicher Schaden zugefügt wurde, ist dieser Prozeß doch wegen seines allgemeinen Vorkommens nicht ohne Einfluß auf das Leben der Bäume geblieben; aber es spielten sich im Bernsteinwald auch mancherlei andere Vorgänge ab, wodurch erhebliche Beschädigungen angerichtet wurden. Alte, abgestorbene Bäume senkten sich zu Boden und streiften und knickten die Zweige anderer Bäume in weitem Umkreise, um dann mit der ganzen Wucht ihres Körpers auf alles das niederzufallen, was ihnen in ihrer Fallrichtung entgegenstand. Mit Gewalt schlugen sie an die Nachbarstämme an, rissen ihre Borke auf weite Strecken hin ab und verletzten stellenweise auch den Holz-

körper selbst. Auch heftigere Winde und Orkane zogen über den Bernsteinwald hin und richteten in ihm die schlimmsten Verheerungen an. Was die Natur durch Jahrhunderte geschaffen, wurde im Verlaufe weniger Augenblicke durch ein furchtbares Element zerstört. Ein Wirbelwind setzte sich in die mächtige Krone und drehte sie auf ihrem Stamme in kürzester Zeit ab; die stärksten Bäume wurden wie Grashalme über dem Boden geknickt und kreuz und quer durcheinander geworfen. Andere Bäume wurden mit ihren Wurzeln aus der Erde gehoben und auf weite Strecken durch die Luft gewirbelt, bis sie zu Boden fielen oder an irgend einem noch aufrechten Baume hängen blieben. Dieses Phänomen mag immer nur an einzelnen Stellen des Waldes aufgetreten sein, verschonte aber kaum ein Individuum und riß daher große Lücken in den Bestand, wo nunmehr eine enorme Menge von totem Material angehäuft wurde. In anderen Zeiten herrschte wohl eine drückende Schwüle und heftige Gewitter entluden sich über dem Walde. Blitze schlugen in die Baumkrone oder in einen alten Aststumpf und sprengten dann auf weite Strecken hin die Rinde ab, deren Fetzen an den Wundrändern hängen blieben und frei in die Luft hineinragten; auch der Holzkörper wurde gespalten und die herausgerissenen Holzsplitter flogen, samt einzelnen Rindenfetzen, weit fort. Zuweilen fuhr ein Blitzstrahl in einen absterbenden Baum oder auch in pilzkrankes Holz und bewirkte hier eine Entzündung. Das Feuer ergriff nicht nur den getroffenen Stamm und die Nachbarstämme, sondern lief noch am Boden hin und verzehrte das auf ihm lagernde trockene Material. Auch das von Mulm und Moos umgebene alte Harz der Bäume wurde vom Feuer erfaßt, konnte also nicht hell aufflammen, sondern schwelte unter der schützenden Decke nur langsam fort und setzte eine schwärzliche Rinde an. Der Bernsteinwald wurde von einer sehr reichen Tierwelt belebt, denn Insekten und Spinnen, Schnecken und Krebse, Vögel und Säugetiere hielten sich hier auf, ganz wie in den Wäldern der Jetztzeit. Das Leben der meisten stand in inniger Beziehung zum Leben der Bernsteinbäume, und es gibt unter ihnen viele, die den grünenden Baum schädigten, während andere das tote Holz angegriffen haben. Größere Tiere brachen mutwillig und unabsichtlich Äste ab und verletzten durch ihren Tritt die zutage liegenden Wurzeln. Eichhörnchen sprangen von Zweig zu Zweig und schälten ihre junge Rinde. Die Stille des Waldes wurde vom Klopfen des Spechtes unterbrochen, der in der Rinde und im Holze der Bernsteinbäume nach Insekten suchte, auch wohl Höhlen zum Nachtaufenthalt und zum Brutgeschäft in das Innere hineinzimmerte. Mit vereinten Kräften mögen auch beide Tiere die Zapfen der Nadelbäume bearbeitet und zerstört haben. — Und so schildert CONWENTZ noch weiter die Beschädigungen, denen der Bernsteinwald ausgesetzt war: nicht etwa aus seiner bloßen

Phantasie heraus, sondern gestützt auf eine Reihe von Erscheinungen im Bernstein selbst, den er einer sorgfältigen Untersuchung und Vergleichung mit ähnlichen Vorkommnissen in jungfräulichen Waldbeständen unterzogen hat.

Überall wo eine Beschädigung stattfand — und sie kam ja an jedem Baume vielfältig vor — suchte die Natur durch Harzerguß die Wunde zu heilen; dieser trat aber gewöhnlich nicht so schnell ein, daß nicht vorher Pilzsporen anfliegen und zur Keimung gelangen konnten. Deren weitere Entwicklung wurde umsomehr begünstigt, als Wärme und Feuchtigkeit in reichem Maße vorhanden waren. Daher wurden nach und nach alle Bäume von einem oder dem anderen, oft auch von mehreren Parasiten gleichzeitig befallen. Auch höhere Pflanzen, wie mistelähnliche Gewächse, lebten parasitisch auf den Bernsteinbäumen. Sie führten reichlich Harz in allen ihren Teilen, vornehmlich aber — wie schon gesagt — in der Rinde und im Holze. Wenn man das normale Vorkommen der harzbildenden Organe, deren Größe und Verteilung ins Auge faßt, kann man einen erheblichen Unterschied von unseren heutigen Kiefern und Fichten nicht bemerken; ebenso finden die verschiedenen abnormen Bildungsweisen des Harzes durchweg ihre Ähnlichkeit bei Formen der Gegenwart. Was aber die Bernsteinbäume in hervorragendem Maße auszeichnete, ist der Umstand, daß die ihnen so häufig zuteil gewordenen Beschädigungen nicht allein den Harzausfluß, sondern auch die Neuanlage von Harzbehältern wesentlich begünstigten. Wenn das klare Harz die Oberfläche des Stammes und der Äste überzog, nahm es leicht vorüberfliegende Insekten, sowie angewehrte Pflanzenreste in sich auf: bei wiederholtem Flusse entstanden geschichtete Stücke, die „Schrauben“ des Handels, die sich durch den Reichtum an organischen Einschlüssen auszeichnen. Das dünnflüssige Harz tropfte aber auch von Zweig zu Zweig und bildete in diesen freihängende Zäpfchen, die durch Ablagerung neuer Schichten immer mehr an Umfang und Länge zunahmen; während dieses Vorganges wurden gleichfalls kleine Tiere und Pflanzenteile eingeschlossen. Mit Rücksicht darauf, daß dieser Prozeß schnell vor sich ging und die einhüllende Masse dünnflüssig war, zeigen die so erhaltenen Organismen außerordentliche Schärfe. Wegen der wenn auch geringen Durchlässigkeit der Harzmasse konnte jedoch eine Verwesung der Einschlüsse nicht verhindert werden; nur Kohlenreste (also widerstandsfähige Substanzen) finden sich noch in den Hohlräumen. Das dünnflüssige Harz fiel auch auf den Boden und verkittete den Mulm, unförmige Massen bildend, die den Firnis des Bernsteinhandels geliefert haben. — Soviel über den Bernsteinwald und den Bernstein.

Je nach der mehr oder minder großen Verschiedenheit in ihrer Zusammensetzung, ihren Eigenschaften und Herkommen haben die wie

Bernstein vorkommenden Harze die verschiedensten Namen erhalten, wie Beckerit, Euosmit, Gedanit („mürber Bernstein“), Glessit (mit vorigem eine Abänderung des Bernsteins), Ixolyt, Jaulingit, Krantzit, Melanchym, Piauzit, Pyroretin, Refikit, Retinit (ein Sammelname für Harzstücke in der Braunkohle), Rumänit, Rosthornit, Schraufit (mit manchen anderen mit etwas Bernsteinsäure); Siegburgit, Symatit, Wheelerit (in Kreidekohlen Neu-Mexikos) usw.

Auch fossile kopalähnliche Harze scheinen im Tertiär vorzukommen. Über rezenten und subfossilen Kopal vergl. p. 47 und 48. Bei seiner Resistenz wird dieser wie Bernstein viel verlagert, so in Ostafrika.

Ein besonderes Interesse verdient der Pyropissit (KENNGOTT 1850, vom griech. pyr = Feuer u. pissa = Harz, Pech) des Weißenfels-Zeitz-Altenburger Braunkohlenreviers, der schon durch seine weißgelbe Farbe seine besondere Natur zu erkennen gibt, insbesondere aber, wenn er ans Feuer gehalten wird, sofort sich als Harzsubstanz verrät. Weitere Namen für diesen Liptobiolith sind in alphabetischer Ordnung: Bergtalk (WACKENRODER 1849), bituminöse Holzerde (VOIGT 1792), gelbe Braunkohle (FRÜH 1895), graue Erdkohle (FREIESLEBEN 1827), Jonit aus der Jone Valley (Kalifornien) soll Pyropissit sein, reine Schwelkohle, Wachskohle und weiße Kohle (VON DECHEN). Da die Liptobiolith von der Technik in ähnlicher Weise verarbeitet werden können und verarbeitet werden wie Sapropelite, nennt man auch die ersteren „bituminöse“ und zwar sind sie um so bituminöser, je mehr Paraffin und Öl sie vermöge ihres Harz- und Wachsgehaltes herzugeben imstande sind. So ist denn zu den schon genannten Synonymen noch die Bezeichnung stark bituminöse Braunkohle hinzuzufügen.

Auf das ehemals reiche Vorkommen des Pyropissits gründet sich die Schwelindustrie in dem genannten Revier, wo man sich jetzt zu diesem Zweck mit der Braunkohle begnügen muß.

Zum Verständnis des Pyropissits ist es nötig, auf die Genesis der dortigen Braunkohlen einzugehen. Zu dem diesbezüglich p. 137—141 bereits Gesagten ist aber noch einiges nachzutragen (vergl. POTONÉ 1908). Eine besonders bekannte Äußerung zur Genesis der Braunkohlenlager der südlichen Provinz Sachsen ist diejenige von KARL V. FRITSCH (1889), der zu dem Schlusse kommt, die Braunkohle des Zeitz-Weißenfels Reviers sei allochthon in dem Sinne, daß „die Pflanzen, deren Reste zusammengeschwemmt wurden“, jenes Material geliefert hätten, dem der Bergbau jetzt nachgehe, d. h. sowohl die dunkle eigentliche Braunkohle (Braunkohle im engeren Sinne) als auch den Pyropissit und die Übergänge zwischen beiden. Der genannte Autor hat sich die folgende Vorstellung gebildet: Die Flora, welche die Urmaterialien der Kohle geliefert hat, ist eine sehr harzreiche gewesen, und der Pyropissit besteht

wesentlich aus harzigen Stoffen. Das Harz mußte sich, wenn die Masse ins Wasser kam, nach und nach von der eigentlichen Kohle sondern. „Es mußte das leichte Harz schwimmen und sich in besonderen Lagen absetzen, während die etwas schwerere, vegetabilische Kohle¹⁾, die eigentliche Braunkohle, ihre gesonderten Lagen bildete.“ Als spezifische Gewichte der Braunkohle im eigentlichen Sinne gibt der Autor an 1,2 bis über 1,4, während beim Pyropissit dieses Gewicht gewöhnlich zu 0,9 und bei ganz reiner Substanz noch geringer angenommen wird.

Bei einer Untersuchung des genannten Revieres meinerseits hat sich ein wesentlich verschiedenes Resultat gegenüber den bisherigen Anschauungen ergeben.

Zunächst ist es notwendig, sich mit der Terminologie abzufinden.

I. Hinsichtlich der chemischen Beschaffenheit sind zu scheiden:

- A. Braunkohle. So wollen wir nur denjenigen Kaustobiolith bezeichnen, der wesentlich aus Humussubstanzen hervorgegangen ist.
- B. Pyropissit wollen wir, wie ursprünglich, nur das wesentlich aus harzigen, auch „wachsartigen“ und ähnlichen Stoffen gebildete, sehr helle (lößähnlich aussehende) Material nennen.
- C. Der aus Braunkohle und Pyropissit gemischte, oft noch ziemlich hell aussehende Kaustobiolith sei als pyropissitische Braunkohle bezeichnet. Zwischen Braunkohle und Pyropissit ist eine scharfe Grenze nicht zu ziehen, da beide durch alle denkbaren Zwischenglieder verbunden sind.

II. Hinsichtlich der Genesis sind die Unterscheidungen bereits p. 19 vermerkt.

III. Hinsichtlich der technischen Verwertung werden in unserem Revier geschieden:

- A. Feuerkohle, wenn das Material zur Heizung benutzt wird.
- B. Schwelkohle, wenn das Material verschwelt wird. Hierzu wurde ursprünglich nur der Pyropissit benutzt, der die große Schwelindustrie des Reviers veranlaßt hat. Jetzt aber, nachdem der Pyropissit fast ganz abgebaut ist, ist auch die pyropissitische Braunkohle „Schwelkohle“. Insbesondere aber wird derzeit die sekundär-allochthone Kohle als Schwelkohle benutzt, weil diese aus nachher anzugebenden Gründen harzstoffhaltiger ist als die anderen Braunkohlensorten. Schwelkohle

¹⁾ v. FRITSCH spricht hier von „vegetabilischer Kohle“ im Gegensatz zum Harz, d. h. zum Pyropissit, jedoch ist natürlich der Pyropissit auch vegetabilischer Herkunft.

ist also, wohl gemerkt, ein rein technischer Ausdruck. Kurz: Wo eine Anreicherung von harzigen Stoffen so stark ist, daß auf Grund dieser Stoffe die Kohlen zur Verschmelzung insbesondere behufs Paraffin- und CH-Öle-Bereitung Verwendung finden können, spricht man von Schwelkohle.

Ferner unterscheidet die Technik:

- C. Knorpelkohle. Das ist die dichte Braunkohle, die sich in großen Stücken gewinnen läßt; sie ist diesbezüglich identisch mit der von den niederrheinischen Braunkohlenbergleuten Knabbenkohle genannten Braunkohle. Ihrer Genesis nach kann diese Kohle autochthon oder primär-allochthon sein.
- D. Klarkohle. Das ist eine beim Anhauen sofort in kleine Stücke und Pulver zerfallende Kohle; sie ist diesbezüglich identisch mit der von den niederrheinischen Braunkohlenbergleuten Rieselkohle genannten Braunkohle (vergl. p. 138). Klarkohle heißt sie, weil sie bereits zerkleinert (klar) und daher fertig zur Verschmelzung usw. ist. Ihrer Genesis nach ist diese Kohle meist sekundär-allochthon; sie kann aber auch autochthon und wohl auch primär-allochthon sein (vergl. hierüber p. 138).

Es hat sich nun ergeben, daß sowohl in dem Revier südlich von Halle, als auch in dem nördlich von Halle die Verhältnisse hinsichtlich der Genesis der Kohlen prinzipiell übereinstimmen. Zum Teil handelt es sich um offenbar autochthone Kohle. Zum großen Teil ist diese aber umgelagert worden und befindet sich an zweiter Lagerstätte, d. h. wir haben es dann mit sekundär-allochthoner Kohle zu tun. In dem Revier von Weißenfels bis Altenburg ist autochthone Kohle besonders verbreitet im südöstlichen Teil, die sekundär-allochthone Kohle im nordwestlichen Teil, dort, wo auch die Hauptfundstellen des Pyropissits waren: eine Tatsache, aus der sich die Vorstellung gewinnen ließe, daß hier der Transport im wesentlichen von Südost nach Nordwest stattgefunden hat, jedoch bedarf das noch näherer Untersuchung durch genauere Fixierung der Stellen, die einerseits autochthone, andererseits sekundär-allochthone Kohle aufweisen; so scheint es, daß mehrere Gruben im Liegenden autochthone, im Hangenden allochthone Kohlenlager haben, und auch nebeneinander kommen beide Kohlenarten vor, wie z. B. im Tiefbau der Preußengrube südlich Meuselwitz, was darauf hinweist, daß das transportierende Wasser, wie im Revier westlich von Cöln sein Bett, soweit es in Kohlenlagern verlief, nachträglich zum Teil wieder mit Kohle ausgefüllt hat.

Mit dem Mikroskop untersucht, zeigt sich, daß in den Kohlenbrocken z. T. zahlreiche, kleine, durchscheinende Harzkrümchen vorhanden sind. Die autochthone Kohle des Reviers ist aber schon makro-

skopisch charakterisiert durch oftmals zahlreich, regellos untermengte, kleinere und größere Harzstückchen („Retinit“), oder durch gleichmäßig oder gehäuft verteiltes Harzpulver, was in Widerspruch zu der Annahme steht, daß alle Kohlen des in Rede stehenden Reviers hinsichtlich der Humus- oder Harzbestandteile eine Separation erlitten haben.

FRI TSCH sagt (l. c. p. 73): „Wären unsere Braunkohlen an Ort und Stelle gewachsen, so würde jedenfalls eine innigste Vermengung der harzigen Teile mit den eigentlichen Kohlenteilen stattgefunden haben“. Und gerade das ist — cum grano salis in dem dargestellten Sinne — namentlich bei den Kohlen im südöstlichen Teile des Reviers, aber auch anderwärts der Fall. Hier findet sich eine Humuskohle, die mit Harz zum Teil so auffällig vermengt ist, daß die einzelnen Stücke davon aus der Kohle herausgelesen werden können. So zeigt sich schon dem bloßen Auge, daß die Braunkohle von einer sehr harzreichen Flora gebildet worden ist.

Später jedoch ist diese autochthone Kohle von den Wassern zum Teil angegriffen und umgelagert worden. Bei einer Wanderung durch die Gruben des Bezirks in nordwestlicher Richtung trifft man nämlich immer häufiger auf Braunkohle, die durch die Zerkleinerung ihres Materials bis zu Pulverform zeigt, daß sie erst als Kohle hierher transportiert worden ist. Bei einem Transport der beschriebenen Harzkohle mußte jedoch bei den verschiedenen spezifischen Gewichten der Kohle und des von ihr eingeschlossenen Harzes eine Trennung ihrer Hauptbestandteile, eine „Separation“, eintreten, und so findet sich denn in der Tat, je weiter wir nach Nordwesten vordringen, ein immer häufigeres Auftreten von Pyropissit, der weiter nichts als das zusammenschwemmte Harz ist; — oder vielmehr: in dieser Weise war es einst zu beobachten, denn die Hauptmasse des früher vorhandenen Pyropissits ist abgebaut; nur kleinere Schmitze stehen noch an, die aber vollkommen genügen, um zur Aufklärung in der angedeuteten Weise zu dienen. Daneben ist — an Quantität natürlich überwiegend — allochthone Riesekohle und pyropissitische Braunkohle vorhanden (Fig. 73).

Harz — z. B. das unserer Kiefer — verwittert häufig zu einem hellen Staub, der wie Pyropissit aussieht. Solcher Harzstaub wird es daher wohl gewesen sein, der durch Separation zu Pyropissitlagern angehäuft worden ist.

Der Pyropissit mußte natürlich an den ruhigsten Stellen zur Ablagerung gelangen, sei es, daß die ihn zusammensetzenden Teile am weitesten geführt worden sind, sei es, daß sie an den weniger oder kaum bewegten Uferstellen zur Ruhe gelangten. Bei einem solchen Transport eines stark humushaltigen Kaustobioliths müssen sich überdies die liptobiolithischen Beimengungen anreichern, weil — wie schon angedeutet — die Humusprodukte sich leichter zersetzen. Es würde sich

daraus die Wertigkeit der sekundär-allochthonen Braunkohle für die Verschmelzung im Gegensatz zu der für diesen Zweck weniger wertvollen autochthonen und wohl auch primär-allochthonen Kohle erklären.

Die Umlagerung an die zweite Lagerstätte hat — ob nur ganz vereinzelt, müßte die weitere Untersuchung lehren — noch zur Diluvialzeit stattgefunden, wie das Vorkommen von nordischem Material, insbesondere

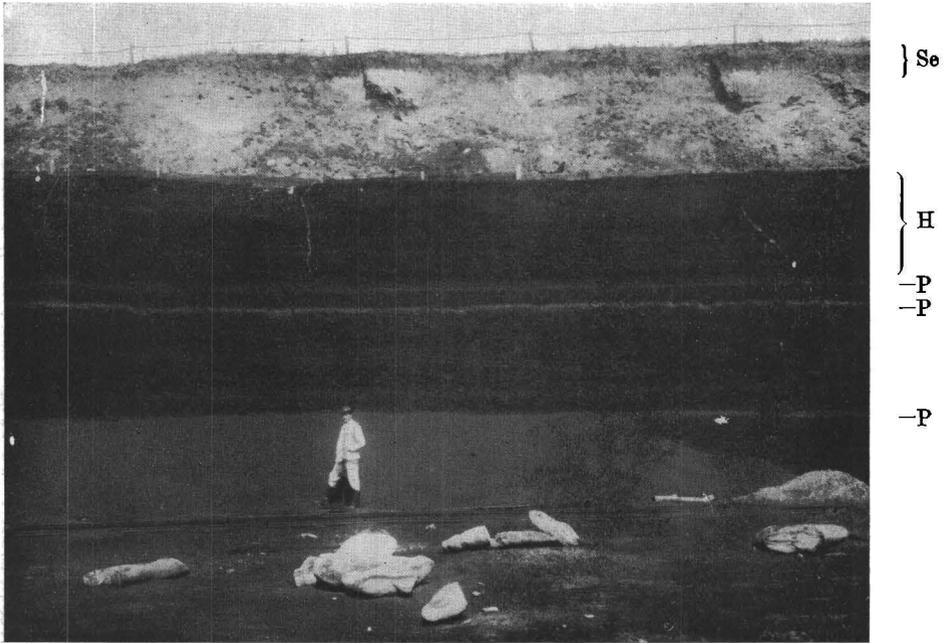


Fig. 73. Profil des sekundär-allochthonen Braunkohlenlagers des Tagebaues der Grube Franz bei Gerlebock (Anhalt). — B = Braunkohlenlager; vorn bei r abgestürztes Kohlenmaterial mit dem für sekundär-allochthone Braunkohle charakteristischen gleichmäßigen, feineren Korn. D = Deckgebirge, und zwar an der photographierten Stelle aus Geschiebelehm bestehend, sonst vorwiegend tertiären Alters, und darüber Löß mit Schwarzerde (Se). S = Sohle mit einigen aus dem Deckgebirge stammenden Knollensteinen. P = stark pyropissitische Schmitzen. Im hangenden Teil des ganzen Lagers, H, drei deutliche und mehrere weniger deutliche, schwächere, mit Geschiebelehm erfüllte Trockenrisse (über diese vergl. p. 141).

von Feuersteinen, inmitten und zwar bis zur Basis des Kohlenlagers in dem großen Tagebaue der Grube Emma bei Streckau beweist. Die Kohle ist hier durch Eispressung stark aufgefaltet worden, was namentlich durch die ursprünglich horizontal eingelagert gewesenen kleinen, schmalen Kiesbänken mit Feuersteinen auffällig ersichtlich ist (Fig. 74).

Das Hangende zeigt sich stark durch die Gewässer der Eiszeit angegriffen. Nach dem Abheben der mit großen nordischen Geschieben

versehenen diluvialen Flözdecke unter Wegnahme der in Vertiefungen im Hangenden des Kohlenlagers vorhandenen Sand-, Grand- und Geschiebmassen zeigen sich nämlich durch Wasser bewirkte Auskolkungen, wie dies unsere Figur verdeutlicht, und selbst Strudellöcher mit mehr oder minder kreisförmigem Rande sind auf der Oberfläche des Flözes vorhanden. Es sei dabei an die p. 143—144 erwähnte ähnliche Erscheinung aus dem Palaeozoicum im produktiven Carbon erinnert.



Fig. 74. Auskolkungen im hangenden Teile des sekundär-allochthonen Braunkohlenlagers der Grube Emma bei Streckau. Die weißen Schnüre in der Kohle sind diluviale Einlagerungen von anorganischem Mineral.

Es muß dahingestellt bleiben, ob dieser der Diluvialzeit angehörige Braunkohlenlagerteil aus sekundär-allochthoner Kohle, umgearbeitet aus oligozäner Braunkohle, etwa seine dritte Lagerstätte gefunden hat. In Fortsetzung des oben ausgesprochenen Gedankens von der eventuellen ursprünglichen Transportrichtung vom Südosten nach Nordwesten hätten wir es dann hier vielleicht — wegen der beigemengten nordischen Gesteine — mit einem im wesentlichen nordsüdlichen Transport zu tun.

Röhrichtböden mit parallel und senkrecht zur Schichtung hinabgehenden Wurzeln sind in dem Revier nichts Seltenes und zwar sowohl in der autochthonen als auch in der nachträglich umgelagerten Kohle,

bezw. in den pyropissitischen Kohlen und im Pyropissit. Z. B. war auch das schwache Pyropissitlager im Hangenden des Kohlenlagers der Grube Emma ein Röhrichtboden. Die Röhrichtwurzeln sind im Pyropissit und in den pyropissitischen Kohlen, überhaupt in hellen Gesteinen naturgemäß durch das Hervortreten als dunklere hinabsteigende Linien sofort zu bemerken, müssen aber in der Braunkohle bei ihrer dunklen Färbung eigens mit Aufmerksamkeit gesucht werden. Da für die Ablagerung von Pyropissit ruhigeres Wasser vonnöten ist, wird freilich die Besetzung mit einer Vegetation hier leichter und schneller vonstatten gehen.

Mehr oder minder pyropissitische Lager und Schmitzen können freilich auch in autochthoner Kohle auftreten, denn wenn die liptobiolithisches Material führenden autochthonen Braunkohlenlager während ihrer Entstehung trockener gelegene Partien aufwiesen, so mußte die Verwesung Platz greifen, und es konnte dann bei entsprechender Zusammensetzung der Flora ein an Liptobiolith reicheres Material zurückbleiben. Die von HEINHOLD (1906) versuchte Rekonstruktion des früheren Vorkommens von Liptobiolith scheint darauf hinzuweisen, jedoch beziehen sich seine Fälle, soweit das jetzt noch zu übersehen ist, wesentlich auf die von ihm als solche nicht erkannte sekundär-allochthone Braunkohle, so daß man hier eher an eine Ablagerung des leichteren Pyropissits an den ruhigeren Randstellen des fließenden Wassers zu denken hat.

Bei rezenten Torfen kann man ebenfalls eine Anreicherung von harzigen Teilen beobachten, wo er Verwesungsbedingungen ausgesetzt ist; auch Harzstückchen (Fichtelit) finden sich gelegentlich in unseren Torfen. Wo das Hangende eines schon fertigen Braunkohlenlagers nachträglich den Atmosphärien so ausgesetzt ist, daß nunmehr eine stärkere Zersetzung ermöglicht wird und sie dadurch, insbesondere durch das hinzutretende Wasser, „schmierig“ wird — „Schmierkohle“ — findet unter Umständen ebenfalls eine Anreicherung von liptobiolithischem Material statt.

Der Pyropissit kann also wohl gelegentlich das nach der Verwesung übrig gebliebene Harz und Wachsharz der Pflanzen sein, die unter Verrotfungs- und Fäulnisbedingungen (d. h. unter weitgehendem resp. gänzlichem Luftabschluß) die Braunkohle (Feuerkohle) geliefert haben; soweit ich die heute noch vorhandenen Vorkommen selbst untersucht habe, ergab sich aber die Entstehung des Pyropissits durch natürliche nasse Aufbereitung, anders ausgedrückt, durch Separation der leichteren Harz-Beimengungen von den wesentlich aus fossilem Humus bestehenden Teilen, die beide wegen ihres verschiedenen spezifischen Gewichts gesondert zur Ablagerung gelangten.

Zu den Liptobiolithen, die in genetischer Hinsicht in die Verwandtschaft des Fimmenits (p. 50) gehören, werden wir gern diejenigen „Kohlen“ rechnen, deren mikroskopisches oder — bei der oftmaligen Größe der Sporen — auch makroskopisches Bild ein massenhaftes Vorhandensein von Sporen oder Pollen erkennen läßt, wobei freilich immer festzuhalten ist, daß die amorphen Kohlensubstanzen die Hauptmasse ausmachen können, deren Herkunft aber nicht mehr zu erschließen ist. Hierher gehört von alten Bildungen z. B. der permo-carbone Tasmanit (A. H. CHURCH 1864), der ein sehr stark Sporen enthaltender sandiger Schiefer-ton (spore-bearing shale) des Mersey River im nördlichen Tasmanien ist. R. M. JOHNSON (1877) bezeichnet den Tasmanit als Gelbe Kohle (Yellow Coal) und Braune Kohle (Brown Coal), auch die Namen Weiße Kohle (White Coal, LIVERSIDGE 1888) und Australian White Coal (E. T. NEWTON 1876) kommen vor. Das Material hinterläßt beim Brennen natürlich ein weißes Gestein, das seine ursprüngliche Form beibehält; ungebrannt ist es hellbräunlich, durch die Sporen wie mit gelblichem, grobem Staub bedeckt und durchsetzt. Der Tasmanit muß wohl in einem ruhigen Wasser am Meeresstrande entstanden sein, denn mit ihm in seinem direkten Hangenden und Liegenden finden sich Meerestiere. Oft finden sich in den Bergmitteln zwischen den Steinkohlenlagern Ansammlungen von Sporen, die auf große und regelmäßige „Schwefelregen“ aus den großen, zapfenförmigen Blüten namentlich der Lepidophyten deuten.

Schlußwort

Es ist seit LYELL oft genug betont worden: die beste Lehrerin geologischer Erkenntnis sei die Gegenwart. In unserem Fall vermag in der Tat das Studium der heutigen Kaustobiolithe und ihrer Lagerstätten volle Aufschlüsse über das Werden der fossilen zu gewähren. Wir sehen: für die Erklärung der fossilen Kaustobiolithe und ihrer Lager bedarf es durchaus nur eines Verständnisses der Vorkommnisse, die den heutigen alltäglichen Entwicklungsgang der Erde ausmachen, d. h. solcher, die heute noch wirken und seit dem Vorhandensein einer Lebewelt gewirkt haben. Die Heranziehung besonderer, ausnahmsweiser Verhältnisse ist also für unseren Fall nicht nur nicht nötig, sondern, wenn es geschieht, werden dadurch nur künstlich Schwierigkeiten geschaffen. Die Alltagsvorgänge und -Beobachtungen reichen hin, die geologischen Tatsachen hinsichtlich der fossilen Kaustobiolithe voll-

kommen und am besten verständlich zu machen: nur hatte man bisher die Gegenwart nicht hinreichend studiert und verglichen. Wir benötigen keiner besonderen, aus dem Üblichen herausfallenden Hypothesen, sondern — um Vergleiche anstellen zu können — nur genügender Kenntnisse über die heutigen Kaustobiolithe. Wenn die Geologie in Zukunft die gegenwärtigen Sapropelite und Humusgesteine gebührend in den großen Bereich ihres Wissensstoffes einbeziehen wird, so wird sie wesentlichen Vorteil davon haben.

Wenn es auch Erörterungen rein wissenschaftlicher Art sind, denen die vorausgehenden Blätter gewidmet sind, so drängt sich aus dem Hintergrunde doch unwillkürlich und fast gebieterisch eine praktische Frage von großer Tragweite hervor, nämlich die: wie wird sich einst die Technik helfen, wenn einmal keine Steinkohlen mehr vorhanden sind, wenn einmal der Vorrat verbraucht sein wird? Vorsichtig mit den in einer berechenbaren Zeit vollständig abgebauten Kohlen umgehen und rechtzeitig an Ersatz denken: das muß der Leitstern desjenigen sein, dem die Zukunft der Industrie am Herzen liegt, der voll erfaßt hat, was der Stand der Industrie jetzt für die Kultur des gesamten Menschengeschlechtes bedeutet. Der gegebene nächstliegende Ersatz für die Kohlen sind unsere heutigen Sapropelite und Torfe. Sie sind nicht nur direkt als Feuerungsmaterial verwertbar, sondern — bei noch weiterer technischer Vervollkommnung der Inkohlungs- und Verkohlungsverfahren — ein wertvoller Ersatz für die kohlenstoffreichen Brennmaterialien. Freilich liegt das Bedürfnis nach einem Ersatz zunächst noch im weiten Felde, aber gegenwärtig wäre er noch zu gewinnen, denn in der gemäßigten nördlichen Zone mindestens sind noch viele Sapropelit- und Torflagerstätten, Sapropelstümpfe und Moore, vorhanden, die aber gewaltig schnell im Schwinden begriffen sind. Es ist sehr die Frage, wo — für den in die Zukunft Schauenden — der größere nationalökonomische Vorteil zu erblicken ist: ob in der Urbarmachung, d. h. wie es jetzt geschieht, in der Vernichtung aller Moore oder in ihrer Erhaltung. Durch die mit der Beseitigung der Moore verbundene Entwässerung sind übrigens auch meteorologische Veränderungen verknüpft, die für die Kultur der anliegenden Ländereien von Bedeutung sein können. Auf der Leeseite großer Moore ist ein reichlicherer Niederschlag vorhanden, der sich mit deren Entwässerung verringert. Für den Einzelnen bedeutet allerdings ein in Kultur genommenes Moor Landerwerb, für das Ganze aber ist jedes vernichtete Moor wahrscheinlich eine Schädigung.

Jedes Stückchen Stein- und Braunkohle, das die Technik verwendet, bedeutet ein Zehren an einer aufgespeicherten Kraft. Vergleichen wir einmal die Technik mit einem lebenden Organismus! Ein Lebewesen zehrt von der in ihm aufgespeicherten Kraft, allein es ersetzt dieselbe durch Nahrungsaufnahme. Die Technik aber verbraucht nur die vor-

handenen Vorräte und kümmert sich, wenigstens vor der Hand, nicht um den einmal notwendig werdenden Ersatz. Die stetige d. h. gesunde Weiterentwicklung der Technik kann nur statthaben, wenn der von ihr kategorisch verlangte Kraftspeicher schier unerschöpflich ist, und ein solcher Speicher ist, wenn wir die Kaustobiolithe miteinander vergleichen, nicht durch die abgestorbenen fossilen Stein- und Braunkohlen gegeben, sondern durch den sich ständig verjüngenden, wachsenden Torf: so lange wachsend, wie die Sonne noch ihr Licht und ihre Wärme spendet!

Da es aber der Technik einst gewiß gelingen wird, Wärme und Licht der Sonne noch direkter und ausgiebiger in ihren Dienst zu stellen, so ist wohl auch deshalb das Verschwinden der Moore in den Kulturländern besiegelt. Nur mit tiefem Schmerz kann der Naturforscher diesen Untergang verfolgen, denn Kunst und Wissenschaft und hier zumal die historische Erkenntnis, die wie kaum etwas anderes geeignet ist, die Zustände, unter denen wir leben, lichtvoll aufzuklären, hätten schon aus diesem Grunde alle Ursache, die dauernde Erhaltung von Mooren zu wünschen!

Register

Die Zahlen mit einem * beziehen sich auf Abbildungen

A.

AGASSIZ 134.
ARISTOTELES 201.
AGRICOLA 6.
Akaustobiolithen 2.
Alaunschiefer 78.
Alaunton 78.
Albertit 92.
Albizzia moluccana 153.
Alethopteris Davreuxi 197.
Algalcoal 70.
Algen 70.
Algenkohle 70.
Algen-Wasserblüte 21, 84.
allochthone Sedimentierung 19.
Allochthonie 9, 19.
Allochthonie, ihre Charaktere 112.
Alnus glutinosa 36, *37, 41, 51, 179, 184.
Alnus-Pollen *27.
Alsophila 158.
ALTHANS 143.
Amphisylenschiefer 76.
ANAXIMENES 5.
Andromeda calyculata 38, *39.
Andrarumkalke 88.
Annularia pseudostellata 197.
Annularia sphenophylloides 197.
Annularia stellata 195, 197, 198.
Anschwemmungstheorie 8.
Anthracites 3.
Anthracit 95, 103.
anthracitische Stengelkohle 104.
Anthrakosit 90.
Aphanocapsa pulchra 49.
Aphlebien *165, *166.
aquatische Autochthonie 19.

Artemia salina 94.
Arundo phragmites 9, 36, *43, 44, 114,
122, 189.
Asche, primäre und sekundäre 52.
Aspergillus 93.
Asphalt 87, 88, 92.
Asphaltpalme 75, 88.
Asphaltschiefer 86.
Astromyelon 121.
Astromyelon (Anatomie) 170, *171.
Atemwurzeln *157.
Augen, Augenkohle 112.
Australian white coal 212.
autochthone Sedimentierung 19.
Autochthonie 9, 19.
Autochthonie, ihre Charaktere 112.

B.

Baikerit 92.
Balsam 201.
BALTZER 106.
Bärlappsamen 49.
BARROIS 144, 150, 189.
BARSCH 66.
Bastkohle 101.
Bathvillit 70.
Baumfarne 163, 169.
Beckerit 205.
Belemniten 81.
Bergeria 131.
Bergtalg 205.
Bernstein 200.
Bernsteinbäume 199, 202.
Bernstein, schwarzer 81.
Bernsteinwald 202—204.
Bergöl 81.
Bergpech 92.

- Bergteer 92.
 Bergwachs 92.
 Berliner Infusorienerde 76.
 BEROLDINGEN 7, 8.
 BERTELS 82.
 BERTHELOT 81.
 BERTRAND 6, 14, 56, 58, 59, 62, 69, 70,
 71, 72, 73, 74, 80, 182.
 Betulaceae 49, 51.
 Betula-Pollen *27.
 Betula pubescens 38, 174.
 BINNEY 148.
 BEYSCHLAG 87.
 Bidens cernuus *34.
 Biolith 2.
 Birke 49.
 Bitumen 17.
 bitumen fluidum 81.
 bitumen judaicum 92.
 Bituminierung 17.
 Bituminit 70.
 bituminöse Braunkohle 205.
 — Gesteine 51.
 — Hölzer 199.
 — Holzerde 205.
 — Kalke 53, 69.
 — Mergelschiefer 74.
 bituminöser Fischeschiefer 72.
 bituminöse Schiefer 53, 68, 70.
 — Tone 69.
 bituminous shale 70.
 Blackband 77.
 Black Cannel 71.
 Blätterkohle 67, 71.
 Blättertön 67.
 Blattkohle 67, 101.
 blättriges Erdpech 68.
 BLEICHER 61.
 Blüten-Stammbürtigkeit 167.
 bodeneigen 9.
 bodenfremd 9.
 Börnstein 200.
 Boghead, Bogheadkohle *56, 71.
 Boghead-Cannel (kohle) 71.
 Boghead-Mineral 71.
 Bohrkern, B.-Untersuchungsmethode
 192—198.
 Bohrmuschellöcher in Kaustobiolithen
 *145, 147.
 Borkebildung 182, 183.
 Bosmina *25, *27.
 Bothrodendraceen 182, 183, 184.
 BOWER 79.
 Brachiopoden 79.
 Brandschiefer 71.
 braune Cannelkohle 71.
 — Kohle 212.
 brauner Ölschiefer 71.
 braunholzige Kohle 100.
 Braunkohlen 54, 206.
 Braunkohle, autochthone *137.
 Braunkohle, gemeine 139.
 Braunkohlenholz-Gerölle 139, *140.
 Braunkohlenlager, sekundär-allochthone
 *209, *210.
 Braunkohlentagebau mit autochthonen
 Baumstümpfen *118.
 Braunkohle, sekundär-allochthone *138,
 *141.
 BRÄUNLICH 99.
 Brennstein 200.
 Brettelkohle 71, 73.
 Brettwurzeln *157, 159.
 BROCKMANN 103.
 Bröckelkohle 137.
 Bröckeltorf 137.
 BROMEIS 47.
 BRONGNIART 8, 101.
 brown Coal 212.
 — Cannel 71.
 — Oilshale 71.
 BROWN, RICHARD 116.
 BRUNNER 80.
 BUCH 82.
 Buchen 202.
 BUREAU 49.
 Burseraceae 157.
 Buschmannskerze 47.

 C.
 Calamariaceen 121, 163, 167, 169, 179, 194.
 Calamariaceen mit Etagenbau *173.
 Calamariaceenwurzeln 170, *171.
 Calamites Suckowi 116, 195.
 Calamus 158, 160.
 calcareous nodules 148.
 Candelit 72.
 Cannel-Coal 52.
 Cannelkohle 52, 72.
 CAR 83.
 Carapa obovata 159.
 carbones fossiles 3.
 carbones lapidei 3.
 carbones terrei 3.

Carbonmoorflora 161—186.
 Cardium edule 149, 189.
 Carex 9.
 Carex gracilis 36.
 CARNE 73, 74, 81.
 Carpinus betulus 96.
 Casseler Braun 139.
 Catalpa 185.
 Cauliflorie 167.
 CAYEUX 189.
 Cephalopoden 79.
 CHAMISSO 9.
 Characeen 21, 74.
 charbon d'algues 70.
 charbons de purins 72, 80.
 charbons gélosiques 72.
 charbons humiques 72.
 Cherry coal 72.
 Chlamydomonaden 93.
 Chlorophyll 68, 100.
 Chlorophyllkohle 68.
 Chromsäurereaktion auf Sapanthronen u.
 Humuskohle 67.
 CHURCH 212.
 Cingularia typica 197, 198.
 Cladocerenreste *25.
 CLARKE 71.
 cloches 120.
 coal balls 148.
 coal-pipes 120.
 Coccolithen 79.
 Cölner Braun 139.
 Cölnische Umbra 139.
 Coleopteren 79.
 Coniferen 49, 61, 79.
 concretionäre Bildungen 142.
 CONWENTZ 202, 203.
 Copaifera 47.
 Cordaites, Cordaitaceen 58, 169.
 CORDUS 6.
 Cornus sanguinea *37.
 Corylus 51.
 Corylus-Pollen *27.
 COTTA 152.
 COULTER 175, 178, 179.
 Crinoïden 79.
 Crustaceen 22, *27, 58, 69, 79, 93, 94.
 Cyatheaceen 182.
 Cycadaceen, Cycadales 79, 101.
 Cyclostigma 131.
 Cynometra 47.
 Cyperaceae 44, 158.

Cypressen-Sümpfe *180, 185.
 Cypress swamp *180, 185.
 Cypris 62, 70.
 Cypris-Schiefer 61, 62.
 CZAPEK 48.

D.

Daphnide *27.
 DARWIN 15.
 DAU 9, 14.
 DAVID 74.
 DAY 91.
 DECHEN 116, 205.
 DECKERT 180, 185.
 DEGENER 6.
 DE L'ISLE 50.
 Delta-Moore 190.
 Denhardt 47.
 Desmopteris unita 197.
 DETMER 152, 153.
 Diatomaceae 14, *25, *27, 70, 75, 76, 93,
 94, 155.
 Diatomeen-Kalk-Sapropel 53, 76.
 Diatomeenpelit 21, 22.
 Dickenwachstum von Carbonpflanzen 167.
 Dicotylen 158.
 DIETZ 99.
 Dipteris 193.
 Dismal swamp 9.
 DITTMAR 148.
 Dolomit 149.
 Dolomitknolle (Schliff) *57.
 Dolomitknollen 148.
 DONATH 99, 100.
 Dopplerit 26, 63, 105.
 Dopplerit-Kohlen 63.
 Drosera 40.
 Duxer Braunkohle 54.
 Dysodil 14, 52, 67.

E.

EBERHARDT 168.
 EHRENBERG 68.
 Eichen 202.
 Eisen 77.
 Eisensapropelite 77.
 Elaterit 92.
 Elektron 200.
 ENGEL 79.
 ENGLER, C. 82, 83, 84, 85.
 Equisetales 184.
 erdige Braunkohle 101.

Erdkohle 3.
 Erdpech 92.
 Erdteer 92.
 Erdwachs 92.
 Ericaceen 38, 45, 70.
 Eriophorum 9.
 Erle 49, 50, 185.
 Erlen-Standmoor *37, 38.
 Erlensumpfmoor 33, *36.
 erdpechhaltiger Polierschiefer 68.
 Etagenbau 40, *172.
 Euosmit 205.
 Euphorbiaceae 157.

F.

Fackelkohle 72.
 Fadenalgen 158.
 Fäkalugeln 61.
 Fäulnis 16.
 Farn, autochthon eingebettet *135.
 Farne 184.
 faseriger Anthracit 111.
 Faserkohle 111.
 FAUJAS-SAINT-FOND 102.
 Faulgallerte 51.
 Faulkohlen 55, 72.
 Faulschlamm 3, 14, 20.
 Faulschlammgesteine 51.
 Faulschlammseen 31, *32.
 FAYOL 10, 108, 134, 136.
 Feinkohle *138.
 fette Kohle 104.
 Feuerkohle 206.
 Feuersteine 75, 76, 209.
 Fichte 38, 49, 58, 59, 69, 79.
 Fichtelit 47, 211.
 Fimme 111.
 FIMMEN 50.
 Fimmenit *50, 212.
 Fireclay 71.
 Fischkohle 72.
 Fischöl 86.
 Flachmoortorf-Mikrophotogramm *24.
 Flachmoor 30, 38.
 Flechten 158.
 Flöz 4.
 Flözverdrückungen 143.
 Florenwechsel, geologischer 191.
 Floßhölzer 79.
 Flysch 91.
 Foraminiferen 74, 79, 88.
 FOULLON 146.

FREIESLEBEN 205.
 FRITSCH 205, 208.
 FRÜH 205.
 Fucaceen 12.
 Fucus 79.
 Fusulinen 74, *75, 88.
 Fusulinen-Faulkalk *75.
 FRASEE 13.
 Friesen 30.
 FRÜH 50.

G.

Gagat 78.
 Gagatit 81.
 Ganoiden 72.
 Gas coal 72.
 Gase 91.
 Gaskohle 72.
 Gasschiefer 72.
 Gastropoden 79.
 Gedanit 205.
 GEINITZ, E. 188.
 Gelbe Braunkohle 205.
 Gelbe Kohle 212.
 GÉNAU DE LAMALIÈRE 99.
 Genistpakete 150.
 Gerölle 142.
 Gerölle aus Kohle 139, *140.
 Glanzkohlen 54.
 Glattrindigkeit 158, 182.
 GLEN 117.
 Glessit 205.
 Globigerinenschlamm 61.
 Glossopteris 54, 81.
 Glyceria fluitans 36.
 GOETHE 11, 108, 109.
 GÖPPELT 8.
 GOLDENBERG 180, 181.
 GOSSELET 189.
 GOTHAN X, 80, 99, 147.
 Grahamit 72, 92.
 Gramineae 158.
 GRAND'EURY 10, 147, 172, 173, 176, 178,
 179.
 Graphit 90, 91.
 Graphitit 103.
 Graphitoid 103.
 graue Erdkohle 205.
 GRAY 185.
 GREEN 49.
 GRUNDMANN 155.
 GÜMBEL 8, 9, 16, 65, 72, 79, 81, 102, 107.

Guttiferae 157.
Gymnospermen 7, 79, 157, 158.

H.

HABERLANDT 183.
Häcksel 125.
Häckselablagerung *129.
Häcksel, fossiler *128.
Häckselstranddrift *133.
Halbsumpf 19.
Haliserites Dechenianus 129.
hangend 7.
Hartkohle 103.
Hartleyit 72.
HARZ, C. O. 68, 69.
Harze, ihre Bedeutung 199.
Harzführung der Pflanzen 199.
Haselnuß 49, 185.
Hatchettin 92.
HAUER 76.
HEER 8.
Heidepflanzen 45.
HEINHOLD 211.
HELLMANN 45.
HERODOT 81.
Hexenmehl 49.
Historisches 5.
Hochmoor 40.
Hochmoorrandzone *43.
Hochmoorrülle (-bach) 42, *43.
Hochmoorteiche *42.
HOERNES 105.
HÖFER 79, 82, 89.
Holzkohle 7, 111.
Holzreste aus Steinkohle *7.
Hopfen 38.
Holzberge 132.
HORNUNG 72, 88, 89.
Hornschwämme 79.
Hottonia palustris 38.
HUMBOLDT 9, 81, 201.
Humulus lupulus *37, 38.
Humus 2, 3, 14, 22, 62.
Humusbraunkohle 68.
Humuserde 24.
Humusgestein 2, 16, 22.
Humuskohlen 14, 26, 57, 95.
Humusort, Humusorterde, -stein 27.
Humussäure 26.
Humussteinkohle *57.
HUNT 73, 89.

HUTTON 7.
Hydrobia ulvae 189.

J.

JACUNSKI 92.
JAHN 87.
Jahresringe 167.
Jais 81.
Jaulingit 205.
Jayet 81.
Ichthyol 86.
Ichthyosaurier 79.
Jet 81.
Jetrock 80.
Infusorien 14, 60.
Inkohlung 16, 17.
Inkrustate, Inkrustation 143, 148.
INOSTRANZEFF 103.
Insekten 69, 79.
Insekten verdauende Pflanzen 40.
Intuskrustate, Intuskrustation 80, 143, 148.
JOHNSON 212.
Jonit 205.
JORDAN 67.
Iris pseudacorus 36.
Isolierschicht 45.
Judenpech 92.
Jussiaea peruviana 176.
Ixolyt 205.

K.

Kännelkohle 72.
Kalksapropel 21.
Kannenpflanze 40.
KARCZEWSKI 7.
Katzenstein 72.
Kaustobiolith 1.
Kaustobiolith, heutige 18.
KEFERSTEIN 5, 67.
KENNGOTT 205.
Kerosene Coal 72.
Kerosene shale *56, 72.
Kerosinkohle 72.
Kerosinschiefer 54, 62, 72, 81, 86, 88.
Kerzenkohle 73.
Kiefer 38, 49.
Kiefernpollen *25.
Kieselalgen 22, 69, 93.
Kieselgur 21.
Kieselgurprofil *22.
Kieselkohle 68.
Kindibal 92.

Kir 92.
 KIRCHNER 133.
 Kirschkohle 72.
 KLAPPROTH 14.
 Klarkohle 207.
 Klebschiefer 76.
 KLEIN, BALTHASAR 6.
 Kletterfarne 164, 169.
 Kletterpflanzen 38.
 Kloake 80.
 Knabbenkohle 138, 207.
 Kniewurzeln *157.
 Knisterkohle 106.
 Knistersalz 93.
 Knorpelkohle 207.
 Knorria 124, 130, 131, 182.
 — acicularis 131.
 — imbricata 131.
 Kohlengerölle 146.
 Kohlen, künstliche 96.
 Kohlenblende 95.
 Kohleneisenstein 77.
 Kohlenpfeifen 120.
 KOHLER 143.
 Kohle und Kohlenstoff 17.
 Koks 17, 62, 104.
 Kolm 73.
 KOORDERS 152—182.
 Kopal 47, 205.
 Koproolithen 58, 59.
 KRÄMER 83, 93, 94.
 Krantzit 205.
 Kreiskohle 112.
 Krümelkohle 139.
 Krüppelkiefern 44.
 KUCKUCK 127.
 Kugelkohlen 147.
 KUKUK 87, 148, 150.
 KÜNKLER 88.
 KUNTZE 9.
 Kupferschiefer 53, 74.

L.

Lacrymaria caspia 94.
 LADRIÈRE 189.
 Lamellibranchiaten 79.
 Laminarien mit Geschieben 144, *145.
 Landklimahochmoore 44.
 LANGER 48.
 Lanzen 132, 133.
 LARIVE 154.
 Laubkohle 101.

lebendes Moor 29.
 Lebermoose 158.
 Leberopal 75.
 Ledum palustre 38, *39.
 Leitformen 193.
 LENIQUE 13.
 Lenticellen 157—159, 178, 182.
 Lepidodendraceen 163, 167, 169, 176, 182.
 Lepidodendron 7, 131, 170, 173, *183.
 Lepidophloios 131.
 Lepidophyten 121, 130, 167, 169, 173, 176,
 182, 194, 212.
 Lepidophytenstumpf mit Horizontal-
 stigmarien *174.
 LESQUEREUX 9, 185.
 Leuchttorf 50.
 Lianen 158.
 LIEBIG 16.
 Lignit, lignite 101.
 lignite bacillaire 101.
 Lignit-Gerölle *140.
 limnische Reviere 187.
 LINCK, G. 149.
 LINK, HEINR. FRIEDR. 7, 8, 10, 12.
 Linopteris neuropteroides 197.
 Liptobiolithe 2, 3, 15, 47, 62, 100.
 Liptobiolithe, fossile 199.
 Litauer 30.
 Lithanthraces 3.
 Lithothamnium 88.
 Liquidambar 185.
 LIVERSIDGE 212.
 LOGAN 115, 116.
 LOHEST 89.
 LOMAX 150.
 Lorbeer 202.
 de LUC 7, 8.
 Lucullan 73.
 LUDWIG 93.
 Luftwurzeln *157, 159, 184.
 LUZI 103.
 Lycopodiales 173, 184.
 Lycopodium 49, 50.
 Lycopodium clavatum 48.
 LYELL 103, 115, 116, 133, 163, 212.

M.

MACKENZIE 73.
 Macrocyttis flos aquae 84.
 magere Kohle 104.
 Magnolien 185, 202.
 Mangroven 158, 159.

Marattiaceen 164, 182.
 Marschmoore 190.
 MARPMANN 54.
 Matonia 193.
 matte Wetter 95.
 MATTHIOLUS 5.
 Matt-Kohlen 54.
 Macerations-Flüsigkeit 69.
 Melanchym 205.
 Meliaceae 157.
 Melosira *25.
 MENDELEJEV 81.
 Menilit 75.
 Menilitschiefer 75.
 MENTZEL 148, 149.
 Menyantes trifoliata 9.
 MENZEL, P. 185.
 Mergelschiefer 53.
 Meteorpapier 65, *66.
 MEYDENBAUER 13.
 MEYN 149.
 Micronecta-Ei *27.
 Miesbacher Kohle 54.
 Mineralische Holzkohle 111.
 Mischwaldmoorzone 38.
 Mistel 204.
 MOHR 12.
 Moder 16, 24.
 MÖLLER 152.
 MOHR 133.
 Mollusken 59.
 MONKE 87.
 Monocotyledonen 157, 158.
 Moor 24, 27, 70.
 Moorausbrüche 142.
 Moorbirke 38, 174.
 Moorgelände im Memeldelta (schematisch)
 *44.
 Moorkiefer *174.
 Moorkohle 111.
 Moortorf 16, 24.
 Moortorftheorie 8.
 Moortypenverteilung auf der Erde *164.
 Moose 158, 162.
 MUCK 66, 95, 106.
 MUELLER, P. E. 77.
 mürber Bernstein 205.
 Muegelkohlen 147.
 Myristicaceae 157.
 Myrrha 201.
 Myrtaceae 157.

N.

Nadelkohle 101.
 Nadelwaldmoorzone 38.
 Naphtha 81.
 NATHORST 126.
 NATTERER 89.
 NAUMANN 9, 13, 116.
 NEUBERG 85.
 Neuropteris gigantea 197.
 — ovata 195, 197.
 — Scheuchzeri 169, 195, 197.
 — tenuifolia 197.
 NEWTON 212.
 Niedermoor 38.
 Nummuliten 74, 88.
 Nymphaeaceae 23, *35, 132.
 Nyssa 41, *175, 178, 179.

O.

Ölalgen 83.
 Ölkohle 73.
 Ölschiefer 68, 73, 79, 86.
 Oilshale 73.
 oleum petrae 81.
 Oolithe 149.
 Opal 22, 76.
 Opalknollen 75.
 Orchis helodes 38.
 Orterde, -stein 27.
 — -Profil *28.
 Oscillaria *27.
 Ostracoden 70.
 Ozokerit 92.

P.

Palaeoweichselia Defrancei 195, 197, 198.
 Palmella 69.
 Palmen 101, 158, 202.
 Pandanus 158.
 Papageikohle 73.
 Papierkohle 68.
 Pappeln 185.
 Pappendeckel 68.
 Paraffinschiefer 73.
 Paraffin shale 73.
 paralische Reviere 187.
 Parallel-Häcksel *128, 129.
 Parichnos 182.
 PARKINSON 6, 81.
 Parrot Coal 73.
 Pechkohle 81, 97, 101, 102.

- Pecopteris 134, *135, 170, 195, 197.
 — hemitelioides 197.
 — pennaeformis 197.
 — plumosa *165, *166.
 Pediastrum *25, *27, 49.
 Pelagochthonie 9.
 Pelosiderite 77.
 Penicillium 93.
 Pentacrinus 79.
 Peridineen 76.
 Petroleum 51, 54, 81.
 — -Cannelkohle 73.
 — Oil Cannel Coal 73.
 PETZOLDT 96, 97, 106.
 Pfahlbauten 30.
 Pfahlwurzeln 159.
 Pflanzenbarren 47.
 Phacotus 74.
 PHILIPPI 127, 129.
 PHILIPPS 143.
 Phragmites communis (s. auch Arundo) 9.
 Phymatoderma 79.
 phytogene Sappropelite 59.
 Piauzit 205.
 Picea ajanensis 202.
 Picea excelsa 38, *39, 51, 61, 174.
 Pila *56, 74.
 Pinus 51, 58.
 — montana 162.
 — silvestris 38, *39, *43, 49, 97, 172,
 202.
 — — mit Horizontalwurzeln *174.
 — — -Pollen *25, *27, *49.
 Pissasphaltum 81.
 Plankton 20.
 Plattelkohle 73.
 Pneumatophoren *157, 179, 181.
 POISSON 49.
 Polierschiefer 76.
 Pollenkorn von Pinus silvestris *49.
 Pollen-Wasserblüte 49.
 Polycystis flos aquae 84.
 Polypodiaceae 50.
 Polytrichum 45.
 Posidonien-(Posidonomyen-)Schiefer 53,
 76, 78, 79.
 Posidonomya Bronni 79.
 Potamogeton 21, 132.
 primäre Allochthonie 19.
 primäre Asche 52.
 prismatischer Anthracit 147.
 PROKOP 29.
 Protophyten 12.
 Psaronien 170, 184.
 Pseudo-Cannelkohle 63, 66.
 Pteridophyten 158.
 Pterosaurier 79.
 Pyramidenkohle 147.
 Pyrit 77, 78.
 Pyropissit 205.
 Pyropissit-Einlagerungen in Braunkohle
 *209.
 pyropissitische Braunkohle 206.
 Pyroretin 205.
 Pyroschist 73.
 Pyxidicula 80.
- Q.**
- QUENSTEDT 80.
 QUIRINUS 81.
 Quirinusöl 81.
- R.**
- Radiolarien 76.
 Rafts 47.
 RAKY VIII.
 RAMANN 77, 186.
 Rangunöl 81.
 Refikit 205.
 reine Schwelkohle 205.
 REINKE 188.
 REINSCH 12.
 Reinschia *56.
 RENAULT 10, 70, 134, 136, 170.
 Reptilien 59, 79.
 Retinit 205, 208.
 RHUMBLER 61.
 Riegelbildungen 143.
 Rieselkohle *138, 207.
 RIGAUD 13.
 ROBERTSON 72.
 RÖMER 144.
 Röhricht *35, 36.
 Röhrichtböden 121, 211.
 Röhrichtboden des Oligocäns *122.
 —, rezenter *123, 124.
 Rohhumus 24.
 Rosthornit 205.
 ROTH 96.
 ROTHPLETZ 79.
 Rülle 42, *43.
 Rumaenit 205.
 Ruß, Rußkohle 111.

S.

- Saccamina sphaerica 61.
 Salvinia 170.
 Salz u. Petroleum 93.
 Sambucus nigra *37.
 Sapanthrakon 52.
 sapanthrakonhaltiger Sapropelit *56.
 Sapanthrakon-Kalke 53.
 — -Tone 53.
 Saprokoll 14, 51, 52.
 Saprodil 52, 68.
 — -Kalke 53.
 — -Tone 53.
 Sapropel 3, 20, 52, 62.
 — -Gesteine 51.
 Sapropelitbank *34.
 Sapropelite 2, 19 (rezente), 22, 51 (fossil), 53, 82, 83.
 Sapropelite, Synonymik 67.
 Sapropel-, Sapropelit-Kalke 21, 53, 74, 85.
 — -Kohlen 14, 53.
 — -Mikrophotogramme *25.
 — -Mergel 53.
 — -Teppiche 65, *66.
 — -Töck *145.
 — -Tone 21, 22, 53.
 Sargasso-Meer 133.
 Sargdeckel 120.
 Sarcocaulon 47, *48.
 Sarracenia purpurea 40.
 Sassafras 185.
 SAUER 103.
 Scenedesmus 49.
 SCHENK 176.
 SCHEUCHZER 7.
 Scheuchzeria palustris 9.
 Schichtung und Schieferung von Kohlen 113.
 Schieferkohle 68, 107.
 —, künstliche 107.
 Schieferung 54.
 — von Sapropeliten 54, 67.
 schiefrige Cannelkohle 73.
 Schilfgras 36.
 Schilfrohr 36, 44.
 Schilfrohrhizom *172.
 SCHIMPER 154.
 schiste bitumineux 70.
 Schlämmtorf 137.
 schlagende Wetter 91, 95.
 Schlamm 20.
 Schlammsumpf 19.
 Schrauben 204.
 Schlick 21.
 Schmierkohle 211.
 Schraufit 205.
 SCHULZE, FRANZ 62, 99.
 SCHULZE, FR. EILHARD 61.
 Schungit 103.
 Schuppenbäume 173.
 Schwaden 95.
 schwarze Cannelkohle 71.
 Schwarzerle *36, 41.
 schwarzer Rahm 111.
 Schwarzkohle 3.
 Schwarzwasser 26.
 Schwebeorganismen 20.
 SCHWEDHELM 88.
 Schwefel 1.
 Schwefelkies 77, 78.
 Schwefelregen 49, 212.
 Schwelkohle 206.
 Schwingmoore 33.
 sekundäre Atmungsöffnungen 183.
 Sedds 47.
 Seebälle 150.
 Seeigel 79.
 Seeklimahochmoor 44.
 Seekreide 85.
 Seerosen 23.
 Seggen 36.
 sekundär-allochthone Kohlen 137.
 sekundäre Allochthonie 19.
 — -Asche 52.
 Selbstzersetzung 17.
 SEWARD 79.
 shaly Cannel 73.
 Siegburgit 205.
 Siegelbäume 173.
 Sigillaria, Sigillariaceen 7, 163, 167, 169, 170, 173, 176, *177, 178—180, *181, 182, *183.
 — (Subsigillaria) Brardi *181, 184, 198.
 — -Stammanschwellungen *176.
 Siliciumdioxid u. Sapropel 75.
 SILLIMAN 74.
 Sium latifolium 36.
 SKEATS 149.
 Smilno-Schiefer 76.
 snags 132.
 SOLGER 186.
 Sonnentau 40.
 Sorben 30.

SORBY 121.
 Sphärosiderite 77, 151.
 SPÄTE 62.
 Sphagnum, Sphagnaceen 38, *39, 40, 42,
 44, 158, 162.
 Sphenophyllaceen 168, 194.
 Sphenophyllum cuneifolium *168, 195.
 — myriophyllum 194, 195, 197, 198.
 Sphenopteris *165.
 — Sauveuri 195, 197.
 Spiegelkohlen 102.
 SPILKER 83, 93, 94.
 Splentcoal 73.
 Splintcoal 73.
 Splitterkohle 73.
 Spongien 79.
 Spongillen-Nadeln 70, 76.
 Sport 50.
 STAFF 75.
 STAHL 93, 94.
 Standmoor 33, *37, 38.
 Stangenkohle 147.
 Staubgrübchen 182.
 Staubkohle 139.
 Steinkohle 3.
 Steinkohlenlager, Profil *4.
 Steinkohlen-Moore 161.
 Steinöl 81.
 Steinrundmassen 146.
 Stelzwurzeln 159.
 stengeliger Anthracit 105.
 Stengelkohle 105, 147.
 Stephanopyxis 80.
 Sterkome 61.
 Stigmara 7, 54, *57, 113, *114, 130, 131,
 170, *171, 173, *174, 184, 192.
 Stigmara-Appendices (Anatomie) *171.
 Stigmarien, autochthone *136, 142.
 Stigmarien mit Baumstümpfen *117.
 Stigmarienböden 115.
 Stigmarienschiefer 115.
 Stinkkalk 53, 88.
 Stinkkohle 68.
 Stinkschiefer 53.
 Stinkstein 74.
 Stipit 101.
 STOPES 148.
 STRAHAN 150.
 Streifenkohle 26, *64, 65.
 STREMMER 62, 108.
 Stückkohle 138.
 STUR 77, 146.

subarktische Pflanzen 41.
 submarine Torflager *188.
 Succinit 200.
 Succinum nigrum 81.
 Sumpf 19.
 Sumpfcypresse *180, 185.
 Sumpfmoor 19, 33, *36.
 Sumpfporst 38.
 Sumpfschwertlilie 36.
 Surturbrand 100.
 Swamp 118, 185.
 — mit Taxodium *180.
 Symatit 205.
 Syringodendron *177, 178, *181, 182, 183.

T.

TACITUS 29, 201.
 Tasmanit 212.
 Tang 9, 12.
 Tangalgenkohle 129.
 Tangtheorie 12.
 TASCHE 14.
 Taxodium 41, 120, *175, 178, 179, *180,
 185.
 Tectona 153.
 terra nigra 3.
 terre bitumineuse feuilletée 68.
 terrestrische Autochthonie 19.
 THEOPHRAST 108.
 Töck 55.
 Toneisensteine 77.
 Toneisensteinknollen 151.
 Tonsapropel 22.
 Torbane-hill-Mineral 74.
 Torbanit 74.
 Torf 14.
 Torfgerölle 146, 147.
 Torfmoos 38, 40.
 Torfrundmassen 77, 146.
 Torfsphaerosiderite 77, 146.
 Torfstich mit autochthonen Baum-
 stümpfen *119.
 totes Moor 29.
 TOULA 13.
 Trachylobium 47.
 Transporttheorie 8.
 Treibholz-Stranddrift *126.
 Trentonkalk 90.
 Trigonodus 127.
 Trockenrisse in Kohle 141, *209.
 Trockentorf 24.
 Trockentorfdedecke *23.

Tropenmoor 41—42, 152.
 Tropennatur der Carbonmoore 152—186.
 Tropentorf 155.
 Turfa, Turffa 102.
 Turf of Marahu 62.

U.

Übergangsmoor 38.
 Ulodendron 167.
 Umbra 139.
 Underclay 115.
 UNGER 8.
 Unterton 115.
 Urtica dioeca *37, 38.
 UTHEMANN 105.

V.

Vegetabilische Kohle 206.
 Verkohlung 16.
 Verlander 36.
 Verlandungsvegetation *35.
 Vermoderung 16.
 Vertebraria 54, 81.
 Vertorfung 16.
 Verwesung 15.
 Vitriol-Schiefer 78.
 Vitriol-Ton 78.
 VOIGT 205.
 VOLKENS 174.

W.

WACKENRODER 205.
 Wachskohle 205.
 Wachsschiefer 74.
 WAHNSCHAFFE 189.
 WALSER 30.
 Wasserblüte 21.
 Wasserfeder 38.

Wasserwanzen-Ei *27.
 WATSON 148.
 Weichkohle 103.
 Weiden 185.
 WEINSCHENK 90.
 weiße Kohle 205, 212.
 Weihrauch 201.
 Wenden 30.
 Wetter, schlagende usw. 95.
 Wheelorit 205.
 white coal 212.
 Widertonmoos 45.
 WIEGMANN 9.
 WIESNER 85.
 Wiesenflachmoor 36.
 WILK 111.
 WILLIAMSON 171.
 Windwurf 121.
 WÖHLER 82.
 Wirbeltiere 80.
 Wollongongite 74.
 Würmer 79.

Y.

Yellow Coal 212.
 YOUNG 117.

Z.

ZAILER 111.
 ZEILLER 134, 135.
 Zersetzungsprozesse 15.
 ZIMMERMANN X, 142.
 ZITTEL 13.
 zoogene Sapropelite 59.
 Zoogloëites 58.
 Zostera marina 9.
 Zwischenmoor 30, 38, *39.

Sammlung geologischer Führer:

- I. **Das Dresdener Elbtalgebiet** zwischen Meißen und Tetschen von Prof. Dr. R. Beck. Mit Karte. 2 Mk. 50 Pfg.
- II. **Mecklenburg** von Prof. Dr. E. Geinitz. Mit 15 Tafeln und Karte. 3 Mk.
- III. **Bornholm** von Prof. Dr. W. Deecke. Mit 7 Textfiguren und 1 geolog. Karte. 3 Mk. 50 Pfg.
- IV. **Pommern** von Prof. Dr. W. Deecke. Mit Textabbildungen. 2 Mk. 80 Pfg.
- V. **Elsaß** von E. W. Benecke, H. Bücking, E. Schumacher und L. van Werveke. Mit 56 Profilen und Abbildungen. 8 Mk.
- VI. **Riesengebirge** von Prof. Dr. G. Gürich. Mit 24 Abbildungen und 3 Tafeln. 5 Mk. 50 Pfg.
- VII. **Schonen** von Dr. A. Hennig. Mit 35 Textabbildungen und Übersichtskarte. 3 Mk. 50 Pfg.
- VIII. **Campanien** von Prof. Dr. W. Deecke. Mit 28 Abbildungen. 4 Mk.
- IX. **Oberitalien**. I. Das Gebirge der oberitalienischen Seen von Prof. Dr. A. Tornquist. Mit 30 Abbildungen. 5 Mk. 50 Pfg.
- X. **Alpen**. I. Das Gebiet der zwei großen rhätischen Überschiebungen zwischen Bodensee und dem Engadin von Prof. Dr. A. Rothpletz. Mit 81 Textfiguren. 4 Mk.
- XI. **Das Berner Oberland und Nachbargebiete** von Prof. Dr. A. Baltzer. Mit 74 Figuren im Text und einem Routenkärtchen. 12 Mk. 50 Pfg.
- XII. **Das inneralpine Becken der nächsten Umgebung von Wien** von Dr. F. X. Schaffer. Mit 11 Textabbildungen. 2 Mk. 40 Pfg.
- XIII. **Das inneralpine Becken**. II. Teil von Dr. F. X. Schaffer. Mit vielen Tafeln. 5 Mk. 50 Pfg.
- XIV. **Dalmatien** von Dr. R. Schubert. Mit 18 Abbildungen und geologischer Übersichtskarte. 5 Mk. 50 Pfg.
- XV. **Odenwald** von Prof. Dr. G. Klemm. Mit 39 Textabbildungen. ca. 6 Mk.

Die Sammlung wird fortgesetzt.

Sämtliche Führer in dauerhaften, geschmackvollen Leinenbänden.

Ausführliche Prospekte gratis und franko